

For Earth, For Life  
Kubota



ON YOUR SIDE

## Model-Based Designツールを活用した 傾斜不整地向け農業用ロボットの開発

株式会社クボタ  
機械研究開発第二部  
井田 裕介

## 1. はじめに

- ・自己紹介、会社紹介

## 2. 開発のコンセプト

- ・傾斜不整地農業の課題、プラットフォーム構想

## 3. 機械の仕様

- ・主要緒言、特徴

## 4. 開発の進め方

- ・KATVの開発におけるV字プロセス

## 5. MBDツールの活用事例

- ・モデリングの進め方、シミュレーションの様子

## 6. その他のMATLAB®活用事例

- ・機能開発、データ解析

## 7. 結言

- ・まとめ、今後の展望

# 1. はじめに



井田 裕介 イダ ユスケ  
yusuke.ida@kubota.com  
1995/01/30

## ・経歴：

2017年3月：立命館大学卒業

2019年3月：立命館大学大学院修士課程修了

2019年4月：株式会社クボタ入社 現在に至る

## ・所属していた研究室：

機械システム専攻ロボティクスコース

ヒューマノイドシステム研究室（玄 相昊教授）

## ・MATLAB歴：

2016年～（所属研究室でご指導を賜る）

## ・現在の主な業務内容：

新コンセプト農業機械の開発

新技術実現に向けた先行研究（制御領域）

社名	株式会社クボタ
創業	1890年
資本金	841億円
連結売上高	3兆207億円
連結従業員数	52,608名
グローバル展開	120カ国以上
海外売上高比率	78.7% (2023年12月31日現在)



## 本社

〒556-8601  
大阪府大阪市浪速区敷津東1-2-47



## グローバル技術研究所

〒590-0908  
大阪府堺市堺区匠町1-11

## 機械

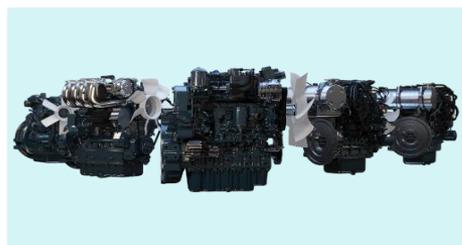
### 農業機械



### 建設機械



### エンジン



### 電装機器



## 水・環境

### パイプシステム



### 水処理システム



### 素形材



## 2. 開発のコンセプト

## 担い手農家が抱える課題

- ① 複数ほ場の効率的な管理
  - ・収量、品質低下の問題
  - ・労働者不足の問題
- ② 生産コストの高騰対策  
(資材費削減、工数削減)
- ③ 生產品の高付加価値化  
(ブランド化)
- ④ 重労働や労働環境の改善



## 日本農業の課題

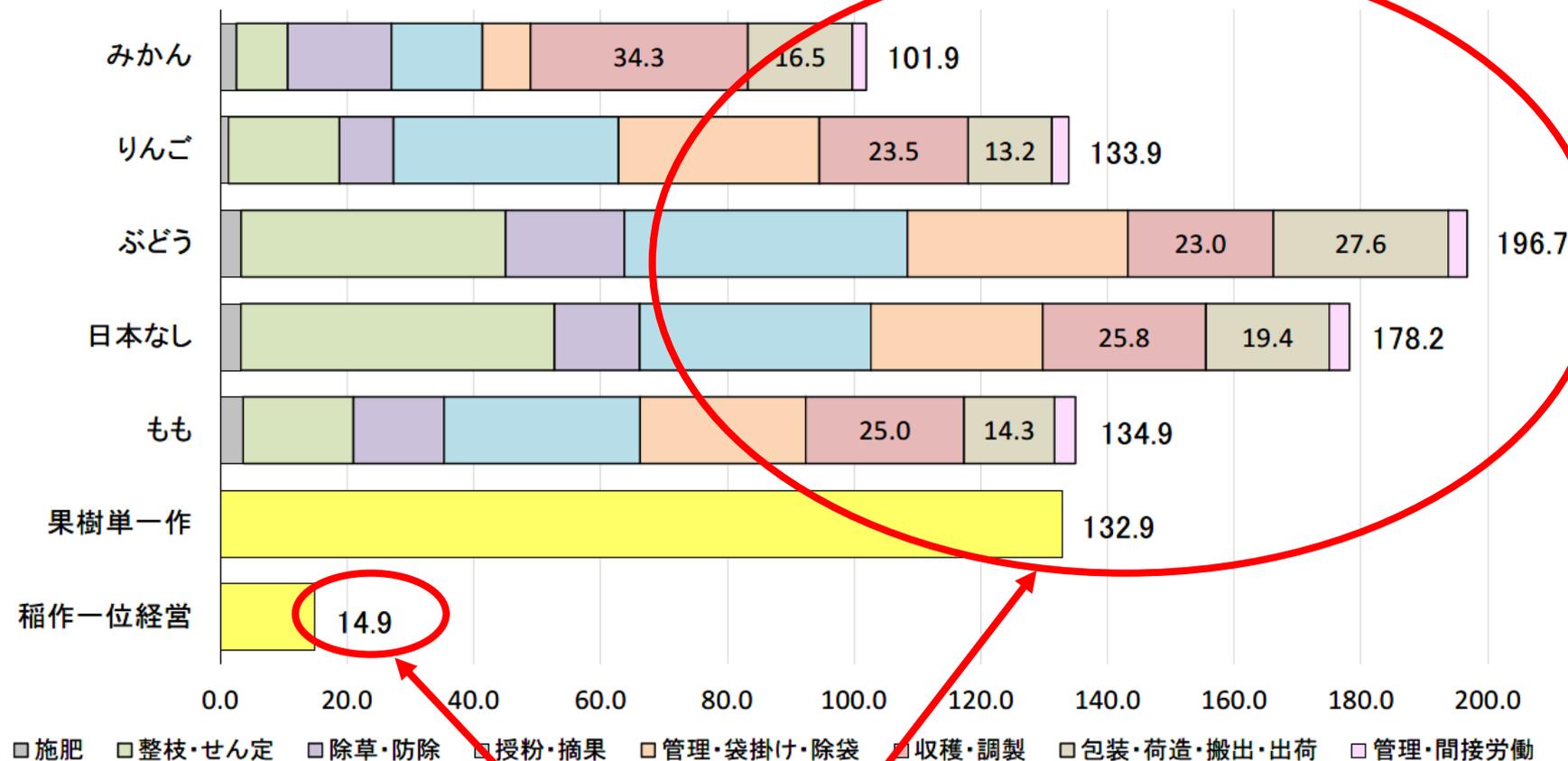
- ① 儲かる魅力的なビジネスへの転換
- ② 重労働から解放、働き方改革により若者の参入を促進
- ③ 中山間地を含め農村の活性化を図り農業の多面的な機能維持



## クボタのスマート農業

- (1) データ活用による精密農業
- (2) 作業の自動化による軽労化
- (3) 無人・自立農機による超省力化

## 作物ごとの労働時間の比較



稲作に比べ、**約10倍**の労働時間を要している

(時間/人・10a)

農業の「働き方改革」検討会。"農業の「働き方改革」主要品目ごとの課題と経営者の取組 (例)".  
農林水産省. <https://www.maff.go.jp/j/study/work/index.html>, (参照2024-05-08)

## 具体的な労働内容

運搬作業

剪定・施肥作業

受粉・摘蕾作業

防除作業

収穫作業

獣害対策

※ウェブ掲載資料では一部画像を非公開にさせていただきます。



枝葉や果樹棚により通路が狭小

傾斜や凹凸が点在



## 果樹園向けトラクタ（平地用）



※ウェブ掲載資料では  
一部画像を非公開にさせていただきます。

傾斜不整地での作業は想像以上に大変

既存の機械で傾斜不整地の走行は困難

傾斜不整地を自在に移動できる小型の走行部が必要



※ウェブ掲載資料では一部画像を非公開にさせていただきます。

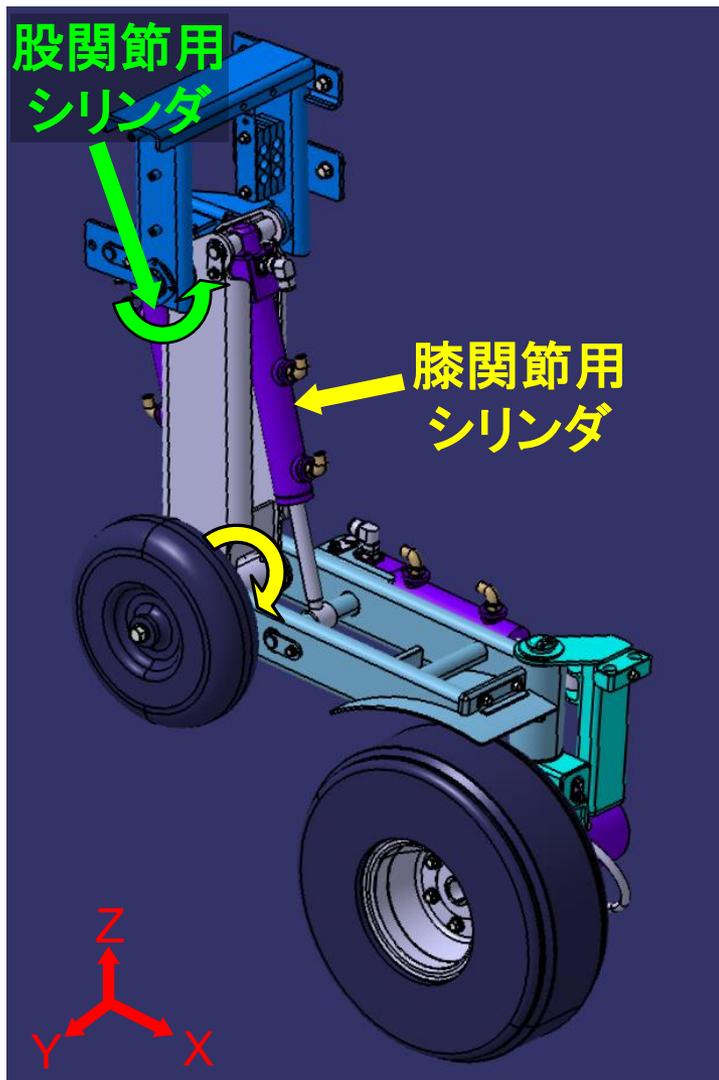
## 3. 機械の仕様

## KATV : KUBOTA All Terrain Vehicle(仮称)



- ◆ 高い不整地走行性能とモジュール構造
- ◆ 脚輪構造と力制御を応用した走行駆動系
- ◆ 高応答な均等接地制御による安定した走行性能
- ◆ 4WS/2WS、クラブ走行、超信地旋回等複数の旋回方式
- ◆ 各種アプリケーションを実装しやすいフラットデッキ構造
- ◆ 自動運転との親和性が高い通信ポート(CAN)を装備



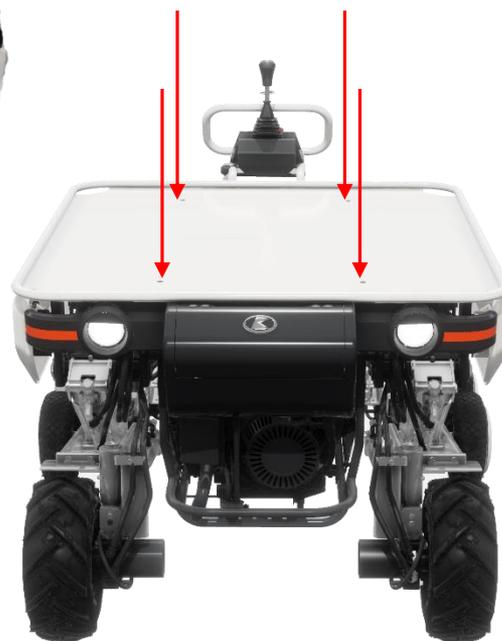


2つのシリンダの協調力制御アルゴリズムにより

- ・駆動輪接地圧の均等化
- ・車体の水平維持

を実現

機器接続用の  
M12ボルト穴



全幅	1160 mm
全長	1550 ~ 2340 mm
デッキ地上高	710 ~ 1190 mm
重量	325 kg
最高車速	4.0 km/h
溝越え性能	400 mm

操作方式 (選択式)	ジョイスティック、プロポ、CAN 接続の任意のデバイス
駆動操舵方式	4WD 4WS
登坂能力	20 deg.
荷台水平性能	±5 deg.
最大積載重量	240 kg

## 傾斜不整地は車両が傾いて走行が困難

※ウェブ掲載資料では一部画像を非公開にさせていただきます。



## KATVでは安定した傾斜不整地の走行を実現



## 動力モジュール



9.5HP エンジンモジュール



7kW 電動モジュール

## 脚輪モジュール



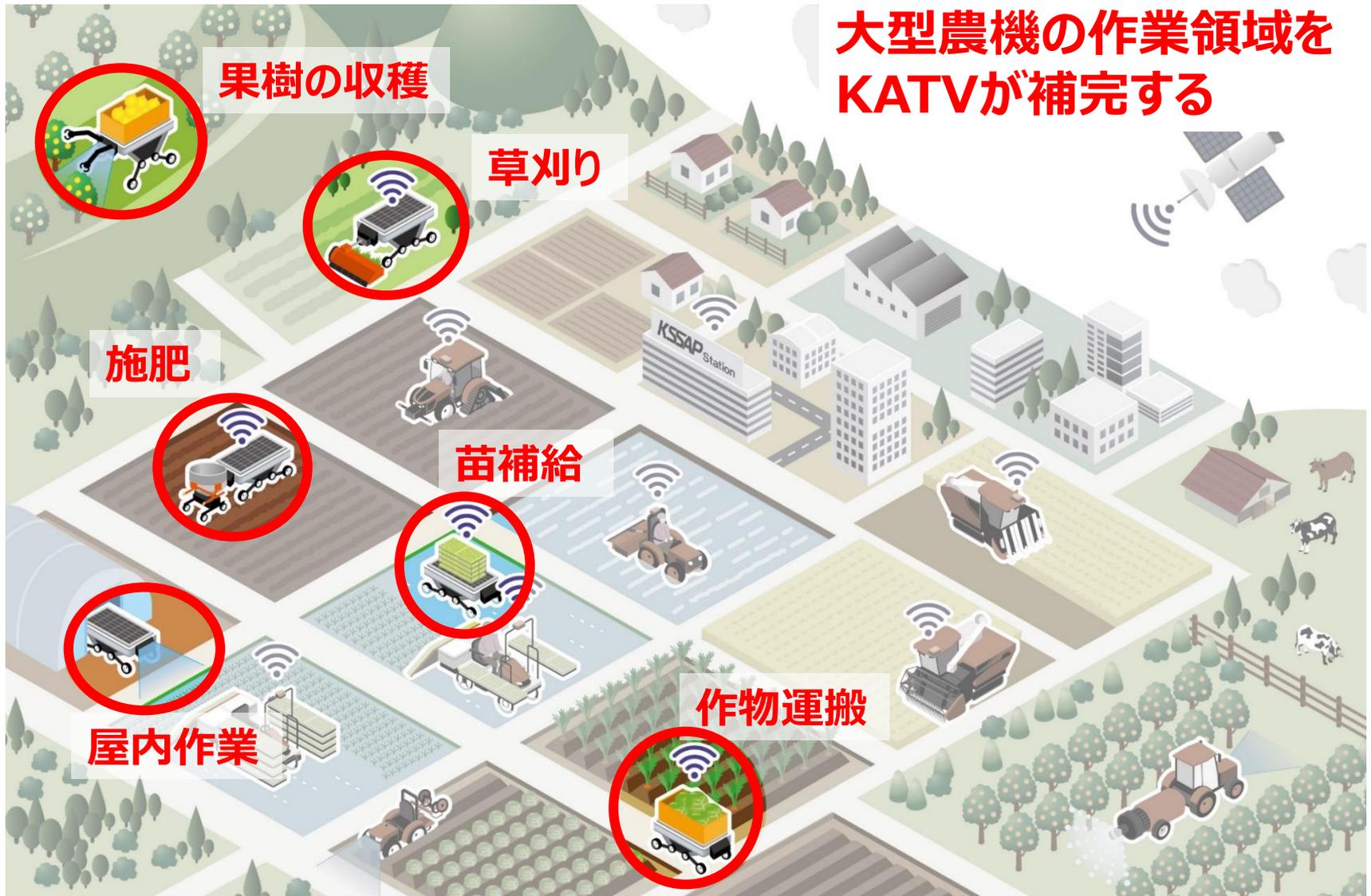
標準モジュール:  
Φ380駆動輪 + Φ250受動輪



ハイクリアランスモジュール:  
Φ650駆動輪



固定モジュール:  
Φ300駆動輪



供試機	試験場所	作業内容	
標準脚 エンジン仕様		レモン、 キウイ園地	生育管理、 収穫物の運搬
ハイクリアランス脚 エンジン仕様		稲作用水田、 畑作用乾湿田	稲、野菜の 生育データ収集
標準脚 電動仕様		ブドウ園地	ブドウの生育 データ収集



<https://www.kubota.co.jp/agrifront/news/news-20231026.html>

## 人型遠隔操作ロボット：DiaroiD®



KATV

**DiaroiDのMBD開発について、  
この後14:35から講演がございます！  
是非ご参加ください！**

人型遠隔操作ロボットのモデルベースデザイン開発とリアルタイムシミュレーション

三菱電機株式会社は、遠隔地作業や危険作業を代替することを目的として、人型遠隔操作ロボットDiaroiD®の開発を進めている。弊社は、「DiaroiD」の操作系並びに駆動制御ソフトウェアの開発を行っている。開発において、Simulink®及びSimscape Multibody™を用いたMBD開発に取り組み、ロボットのプラントモデルの作成、MILS及び自動コード生成などの成果を得た。さらに、これらの成果を基に、リアルタイムシミュレーション環境を構築し、「DiaroiD操縦支援システム」を製作した。本講演では、開発の経緯、成果及び活用事例について紹介する。

アラートリング   0M\*ティクス   制御   3d仮想環境   5M\*ル\*ベース\*デザイン



三菱電機ソフトウェア株式会社  
神田 吉孝

現在**関西ロボットワールド**で展示中

※ウェブ掲載資料では一部画像を非公開にさせていただきます。

現在**関西ロボットワールド**で展示中

For Earth, For Life  
Kubota

全地形対応プラットフォーム車両

## KATV KUBOTA All Terrain Vehicle (仮称)



### 1 不整地走行

傾斜地や凸凹のある路面でも勝手に脚を曲げ伸ばしすることで、デッキを水平に保ったまま移動します。

### 2 プラットフォーム

ステアリング角度と車速を外部からコントロールできるCANメッセージを用意しています。また、モジュール設計により機能を拡張できます。

### 3 スモールメリット

軽トラや商用バンなどで運搬が可能なコンパクトサイズ、超信地旋回が可能で小回りが利くため狭小地でも活躍できます。

主要諸元			
能力	性能	車両寸法・重量	
エンジン最高出力	登坂能力	全幅	1180 mm
エンジン型式	荷台水平性能	全長	1550~2340 mm
燃料	最大積載重量	デッキ地上高	710~1190 mm
燃料タンク容量	傾斜地可搬重量	デッキ内寸法(長さ)	1110 mm
	滑走性能	デッキ内寸法(幅)	1060 mm
操作・走行方式	最高車速	タイヤ径	φ380 mm
操作方式	最小旋回半径	重量	325 kg
プロポ		外部I/F	
駆動方式		CAN 2.0B Extended	500 kbps
操舵方式			

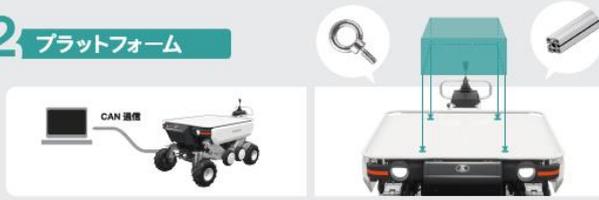
農業・林業・建設業など、傾斜・不整地で頑張る方々のパートナーとして活躍します。

### 1 不整地走行

傾斜・不整地でも四輪が地面を確実にとらえ、積載物を傷めることなく運搬できます。



### 2 プラットフォーム



ステアリング角度と車速を外部からコントロールできるCANメッセージを用意しています。

デッキには、ボルト穴が4点準備されているので、アルミフレームやアイボルトを追加し、デッキの活用幅を広げることができます。

### 3 スモールメリット



商用バンや軽トラック荷台にピッタリと収まるサイズです。



株式会社クボタ

会場入り口にリーフレットを置きましたので、ご自由にどうぞ！  
実演、利用希望のご連絡もお待ちしております！

## 4. 開発の進め方

※ウェブ掲載資料では一部画像を非公開にさせていただきます。

- **MILS** : Model In the Loop Simulation  
制御、制御対象（プラント）ともにモデルでシミュレーションを行う
- **RCP** : Rapid Control Prototyping  
制御モデルと試験用装置や簡略化した実機を用いて制御を検証する
- **ACG** : Automatic Code Generation  
制御モデルから制御プログラム（Cコード）を自動生成する
- **HILS** : Hardware In the Loop Simulation  
制御対象モデルと実際のコントローラ（ECU）を用いて検証を行う

この中で、実際にKATVの開発で使用しているプロセスは

※ウェブ掲載資料では一部画像を非公開にさせていただきます。

**要件定義→基本設計(MILS)→コーディング/実装→単体・結合テスト→実機評価**

- ・実機評価の結果、制御理論の構築から見直す必要が出た場合
- ・現地試験で、機能を追加する必要があると判断した場合 等

走行試験場や  
協力農家さんの  
ほ場で走行させる



要件定義

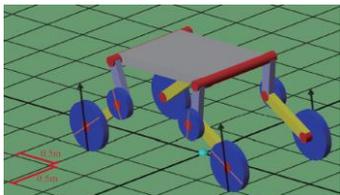
基本設計(MILS)

コーディング/実装 (ACG)

単体・結合テスト

実機評価  
(現地試験)

MATLAB®を使用して、  
システム検討や  
走行シミュレーション



ECUに書き込んで、  
機能が意図通りに  
動作するかを確認する

オートコーディングツールを  
使用して、MATLAB®の  
プログラムをCコード化する

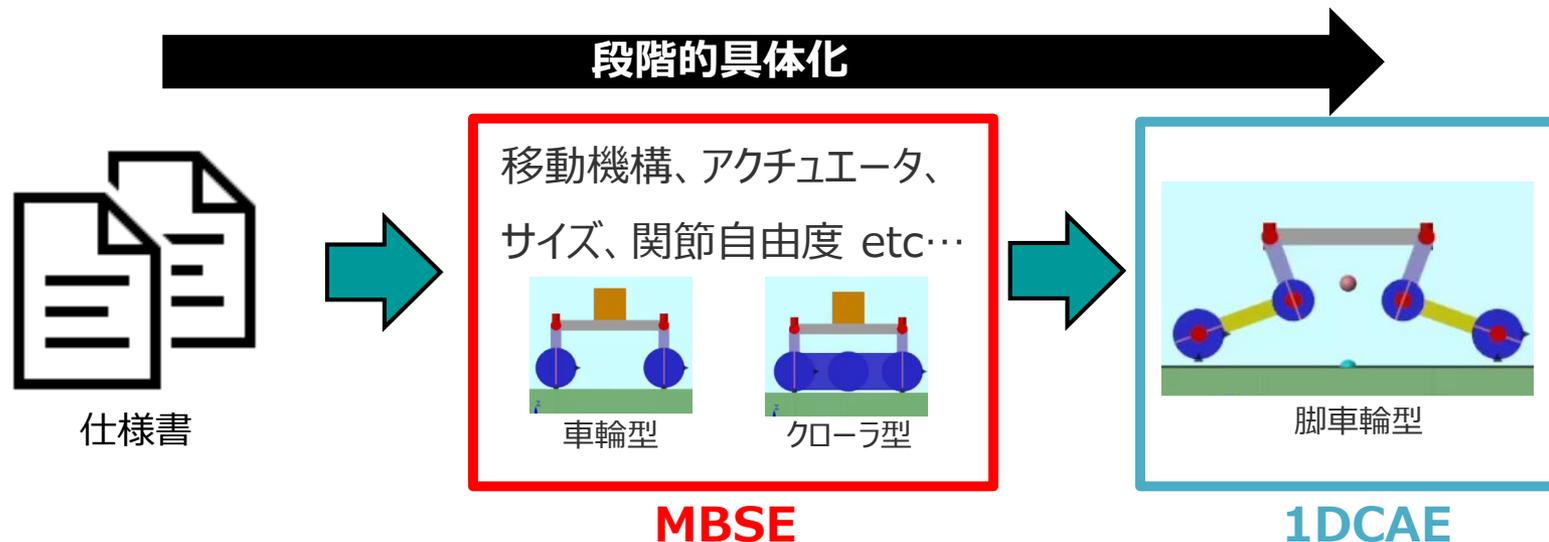
## 基本設計(MILS)

### MBSE : Model Based System Engineering

モデルを使って要求分析、機能定義、システム構成検討を行う

### 1D-CAE: 1 Dimension Computer Aided Engineering

形状3Dデータが無い時点で、車両の性能を予測、シミュレーションする  
MBSEで検討した結果をモデルに反映し、要求を満足するかの確認



## 3. MBDツールの活用事例

- ・実機評価の結果、制御理論の構築から見直す必要が出た場合
- ・現地試験で、機能を追加する必要があると判断した場合 等

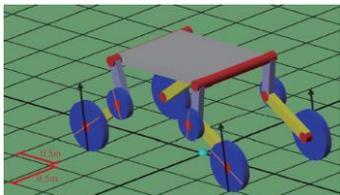
走行試験場や  
協力農家さんの  
ほ場で走行させる



要件定義

基本設計(MILS)

MATLAB®を使用して、  
システム検討や  
走行シミュレーション



実機評価  
(現地試験)

単体・結合テスト

ECUに書き込んで、  
機能が意図通りに  
動作するかを確認する

コーディング/実装 (ACG)

オートコーディングツールを  
使用して、MATLAB®の  
プログラムをCコード化する

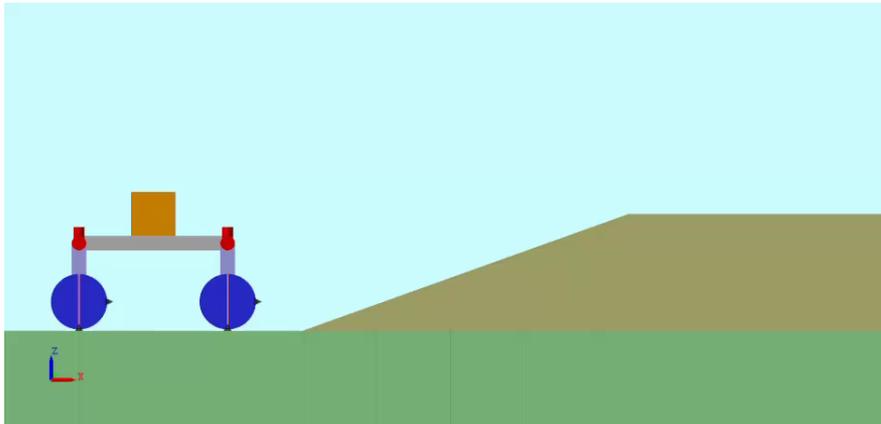
## 傾斜不整地の例



## 開発機の仕様

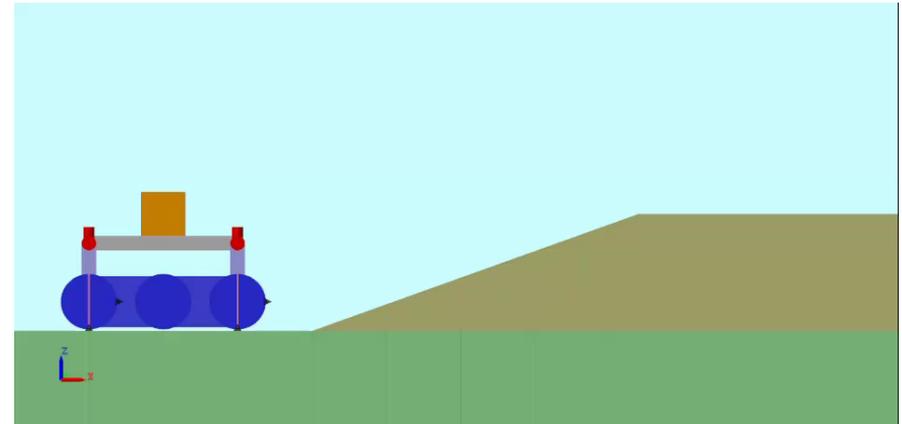
- (1) 車体重量 + **240kg程度**の重量物を積載して走行できる出力を有していること
- (2) 傾斜不整地走行中の路面からの衝撃に対して、**十分な耐久性**を有していること
- (3) 砂塵の舞う山や雨天でも運用できる、**防塵・防水性**を備えていること
- (4) 傾斜不整地を**人と同等の速度(0.6m/s程度)**で移動し、**協働作業**ができること
- (5) **軽トラックや商用バンに収まるサイズ、重量**であること

	走破性	移動速度	汎用性	ペイロード	整備性	エネルギー効率
車輪	×	○	×	△	○	○
クローラ	△	△	△	○	△	△
脚	○	×	○	×	×	×



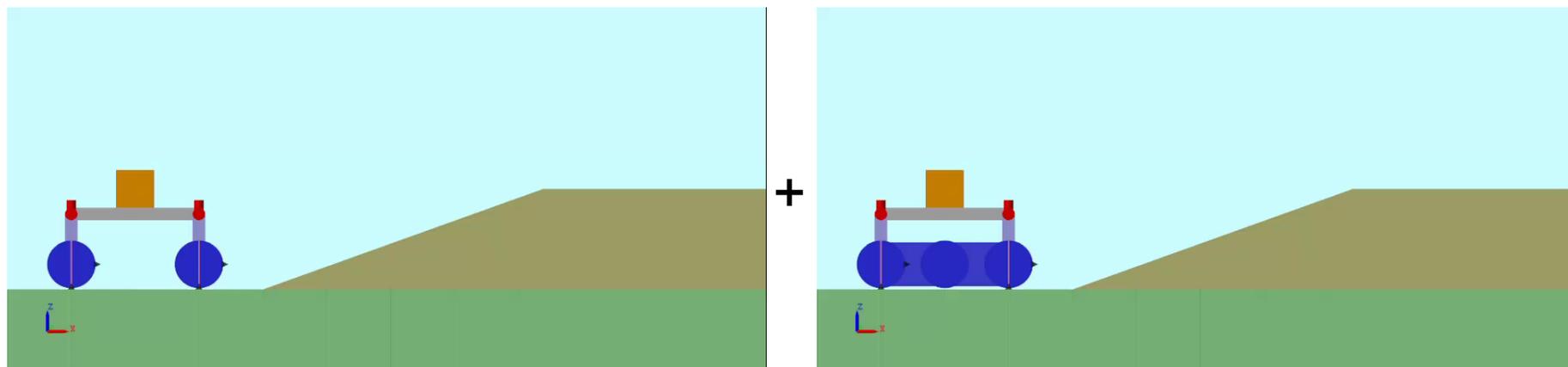
## 車輪 :

- ・斜面走行時の谷側車輪の負担が大きい
- ・車輪直径以上の溝を超えられない
- ・低価格、移動のエネルギー効率が良い

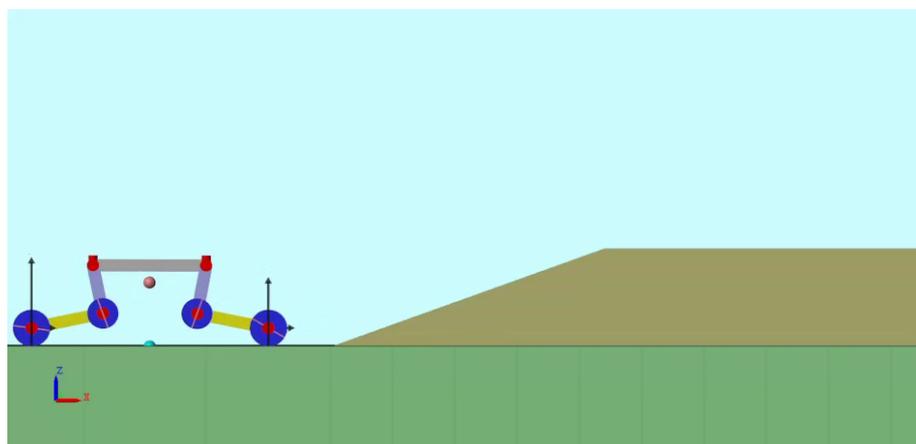


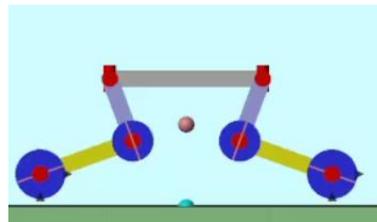
## クローラ :

- ・平地から下り坂に進入した時に急に傾く
- ・整備性が悪い（ベルトの交換が大変）
- ・面で接地するため、溝や軟弱地を走破できる



**+ 脚の汎用性の高さ**

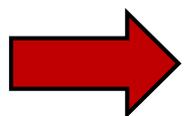


- 駆動輪 × 4
  - 受動輪 × 4
  - 3自由度の脚 × 4
- 

を組み合わせた**脚車輪機構**を考案

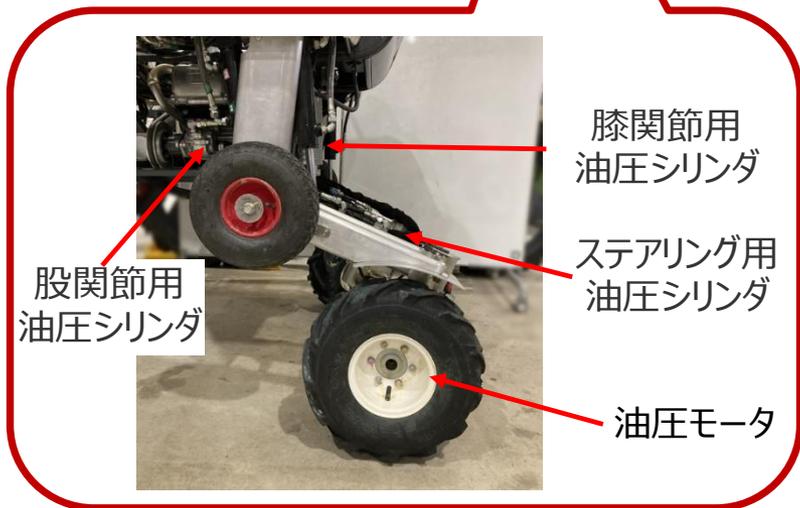
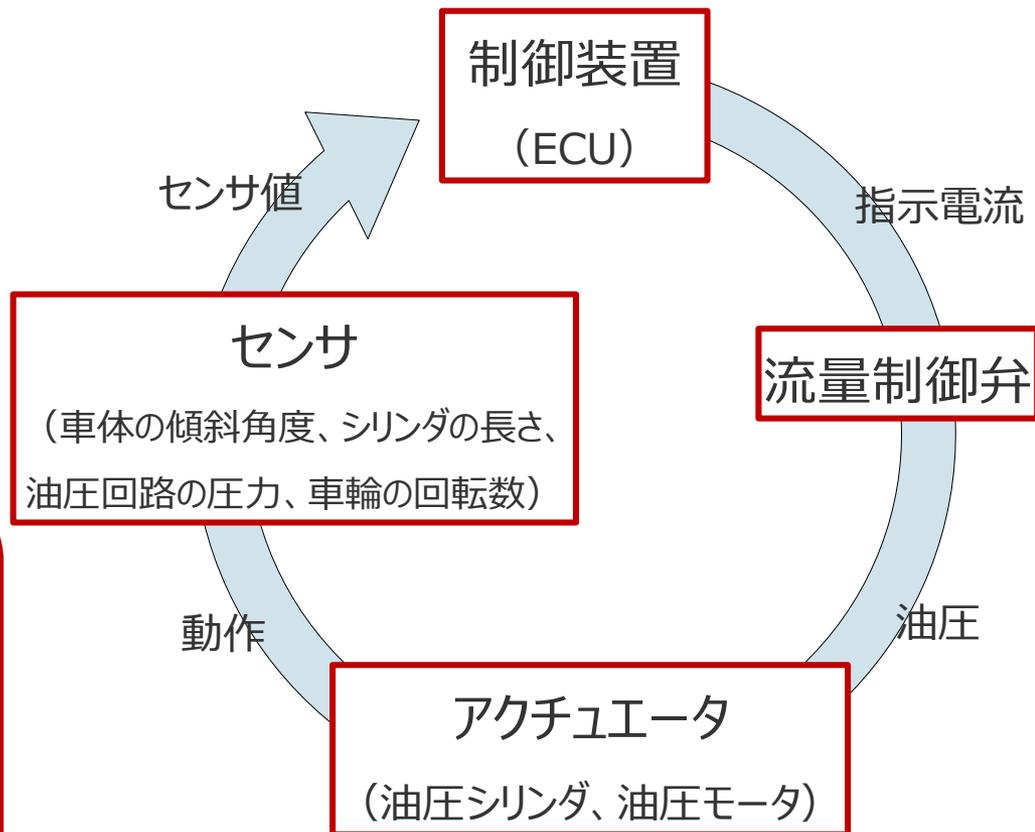
	操作力	耐久性	伝達効率	位置精度	軽量さ	備考
油圧	○	○	△	△	△	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防水、防塵性が高い</li> <li>・ 油圧源、配管が必要になる</li> </ul>
電動	△	△	○	○	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 制御性に優れる</li> <li>・ 過負荷時に損傷しやすい</li> </ul>
空圧	×	×	×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軽量、安価にシステムが構築できる</li> <li>・ 高精度の位置決めができない</li> </ul>

- (1) 車体重量 + **240kg程度**の重量物を積載して走行できる出力を有していること
- (2) 傾斜不整地走行中の路面からの衝撃に対して、**十分な耐久性**を有していること
- (3) 砂塵の舞う山や雨天でも運用できる、**防塵・防水性**を備えていること
- (4) 傾斜不整地を**人と同等の速度(0.6m/s程度)**で移動し、**協働作業**ができること
- (5) **軽トラックや商用バンに収まるサイズ、重量**であること

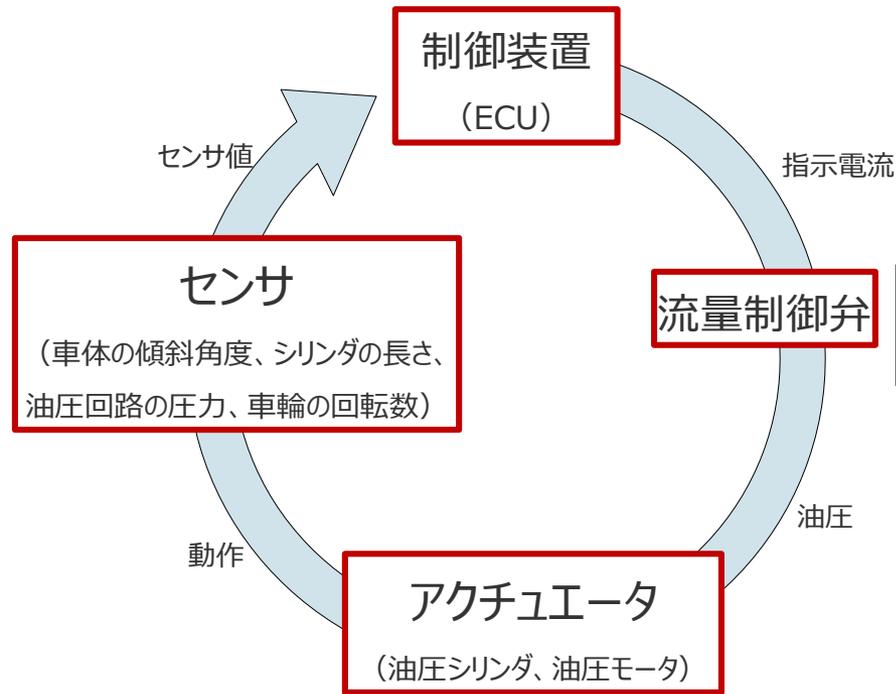


**脚関節には油圧シリンダ、走行系には油圧モータを採用**

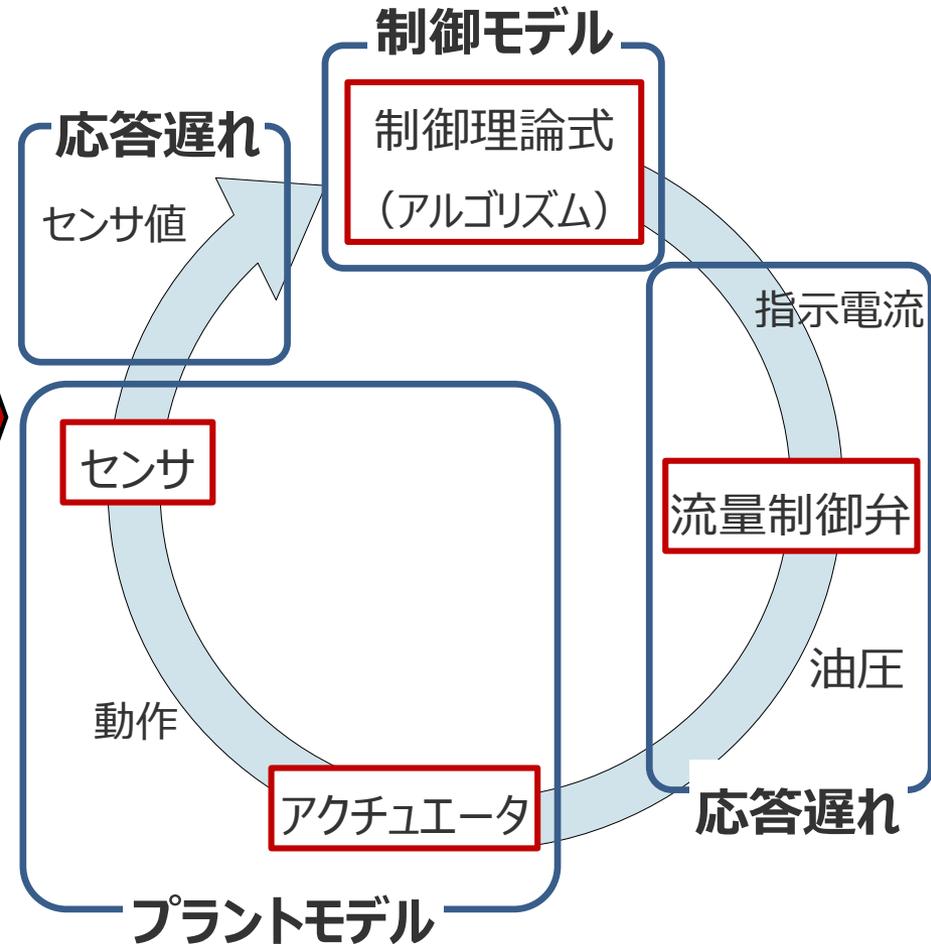
## KATVのシステム構成

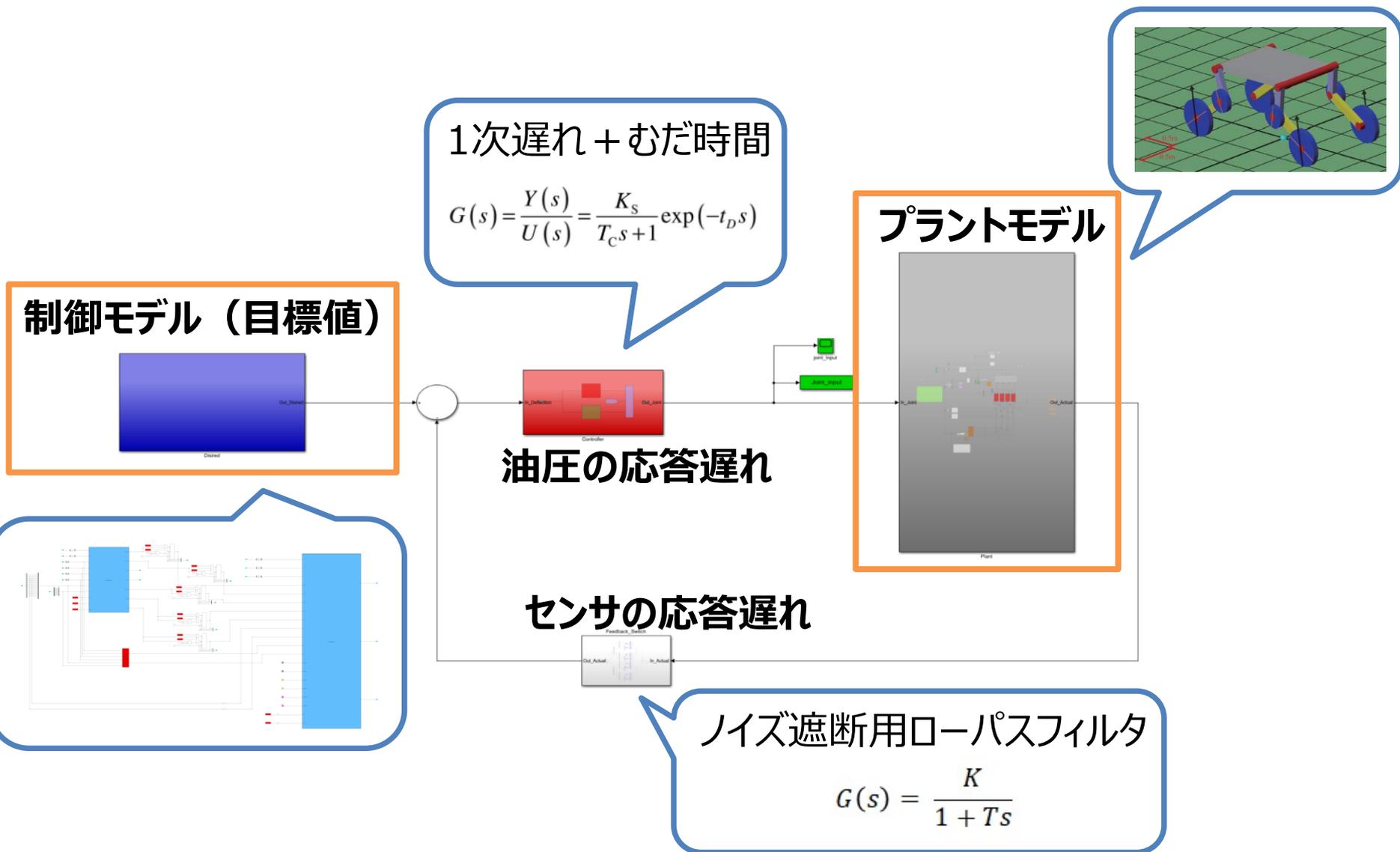


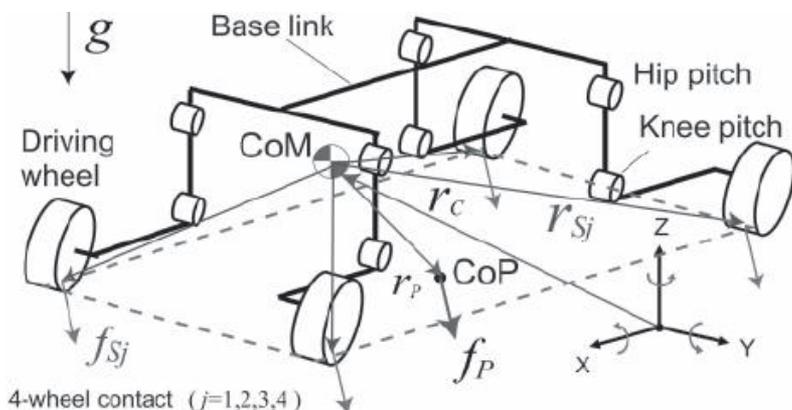
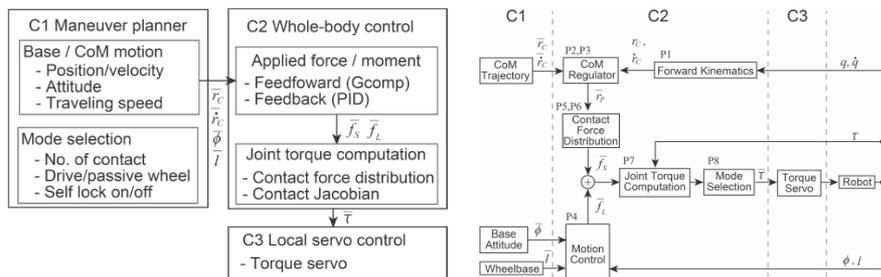
## KATVのシステム構成



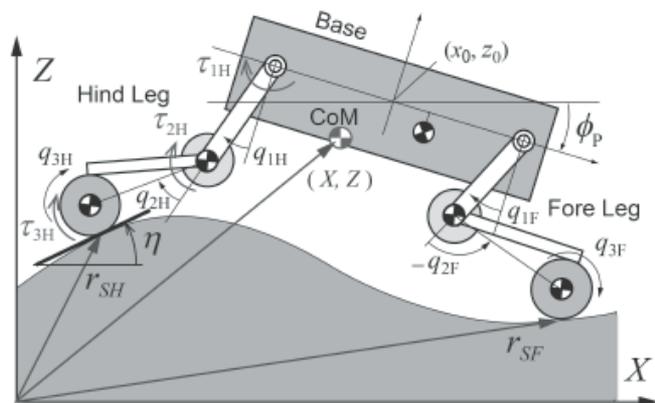
## Smulink®で構築した1D-CAEの構成







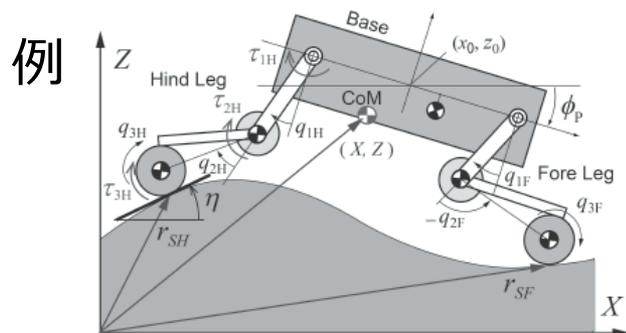
4-wheel contact ( $j=1,2,3,4$ )



- (P1) センサ計測値に基づいて現在の重心位置  $r_C = [X, Y, Z]^T \in \mathbb{R}^3$  とその速度を計算する（座標系の定義は Fig. 9 を参照）。また、必要な順運動学計算を行う。
- (P2) 目標重心位置、速度情報から重心を制御するための目標 GAF  $\bar{f}_P = [\bar{f}_{xP}, \bar{f}_{yP}, \bar{f}_{zP}]^T \in \mathbb{R}^3$  を定める（例えば重心位置・速度のフィードバック、重力補償が代表的である）。
- (P3) 床作用力と CoP の関係式から、目標床反力中心点 (CoP)  $\bar{r}_P \in \mathbb{R}^3$  を計算する。
- (P4) ベース姿勢角  $\phi = [\phi_R, \phi_P, \phi_Y]^T \in \mathbb{R}^3$  を制御するための目標モーメント  $\bar{M} \in \mathbb{R}^3$  とホイールベースを制御する水平発揮力を設定する。本ロボットは冗長システムのため、意図しない姿勢にならないように与えている（本研究では姿勢制御に PID 制御、ホイールベース制御は PD 制御を利用）。
- (P5) アクティブな接触点  $r_{Sj}$  ( $j \in \{1, 2, \dots, \alpha\}$ ) とアクティブな関節  $q_i$  ( $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ) を定め、後述する接触ヤコビ行列  $J_{Sj}$  を構成し、それを縦にスタックしたものを  $J_S \in \mathbb{R}^{3\alpha \times n}$  とおく。
- (P6) アクティブな接触点に配分する接触力  $\bar{f}_S \in \mathbb{R}^{3\alpha}$  を、力とモーメントの関係を満たし、かつノルムが最小となるよう決定する（文献 [17] の式 (38) 参照）。
- (P7) 目標接触力  $\bar{f}_S$  から関節トルク指令  $\tau \in \mathbb{R}^n$  を  $\tau = J_S^T \bar{f}_S + D\dot{q}$  によって求める。ここで第 2 項は関節ごとの局所減衰項である。
- (P8) 非アクティブな関節に対して適切な処理を行う（油圧ロックをかけるなど）。

織田健吾他: “全身トルク制御可能な油圧ローバーの実現”, 日本ロボット学会誌, vol. 40, no. 5, pp. 421-430, 2022.

**MATLABのツールを活用して、  
この制御アルゴリズムを組み込みます**



脚先の位置ベクトル  $r_2 \in \mathbb{R}^2$   
 重心  $r_c$  から見た脚先までの  
 ヤコビ行列は  $q = [q_1, q_2]^T$  から

$$J_s = \frac{\partial(r_2 - r_c)}{\partial q} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$$

重心位置ベクトルの計算

$$r_2 - r_c = \dots$$

さらに偏微分して……と手計算では非常に工数がかかり、記述ミスリスクもあります



Symbolic Math Toolbox™ を活用して式を導出しました

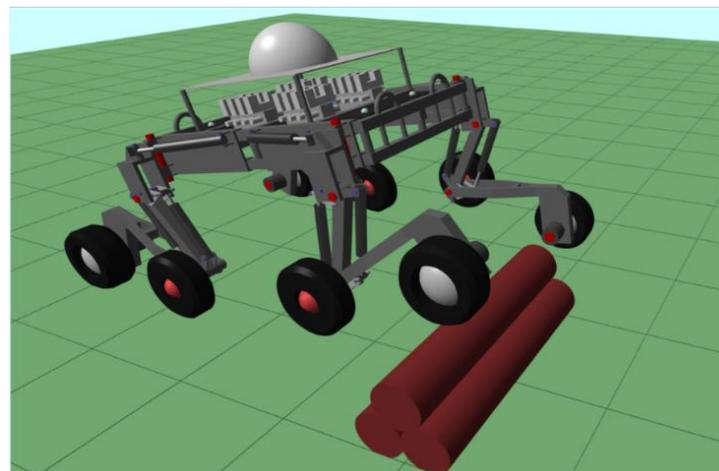
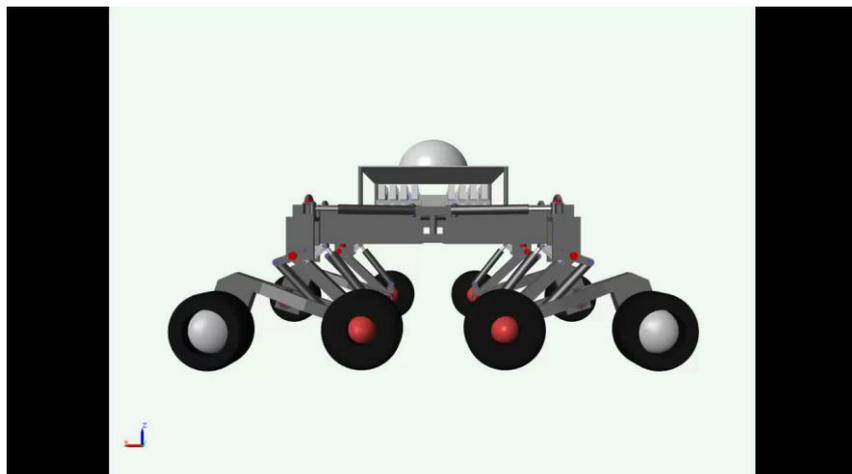
```

--- jacobian のヘルプ ---
jacobian - ヤコビ行列

この MATLAB 関数は、f のヤコビ行列を v に対して計算します。

jacobian(f,v)
>> jacobian([pFL2-CoM], [rL1; rL2;])
ans =
[(ms2*(As2*(cos(q00 + rL1 + rL2)*cos(q000 + rLs) - sin(q00 + rL1 + rL2)*sin(q000 + rLs)*sin(q0)) + Ls1*(cos(q00 + rL1)*cos(q000 + rLs) - sin(q00 + rL1)*sin(q000 + rLs)*sin(q0)) + Ls2*(cos(q00 + rL1)*sin(q000 + rLs) + sin(q00 + rL1)*cos(q000 + rLs)*sin(q0)) + Ls1*(cos(q00 + rL1)*sin(q000 + rLs) - sin(q00 + rL1)*cos(q000 + rLs)*sin(q0)) + Ls2*(sin(q00 + rL1)*cos(q000 + rLs) - cos(q00 + rL1)*sin(q000 + rLs)*sin(q0)) + Ls1*(sin(q00 + rL1)*sin(q000 + rLs) + cos(q00 + rL1)*cos(q000 + rLs)*sin(q0)) + Ls2*(sin(q00 + rL1)*sin(q000 + rLs) - cos(q00 + rL1)*cos(q000 + rLs)*sin(q0)))]
    
```

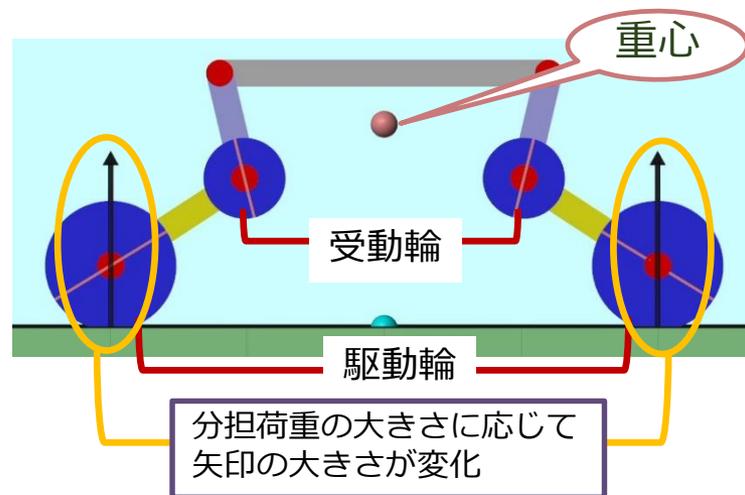
## Simscape™ Multibody™ を使った物理モデリング



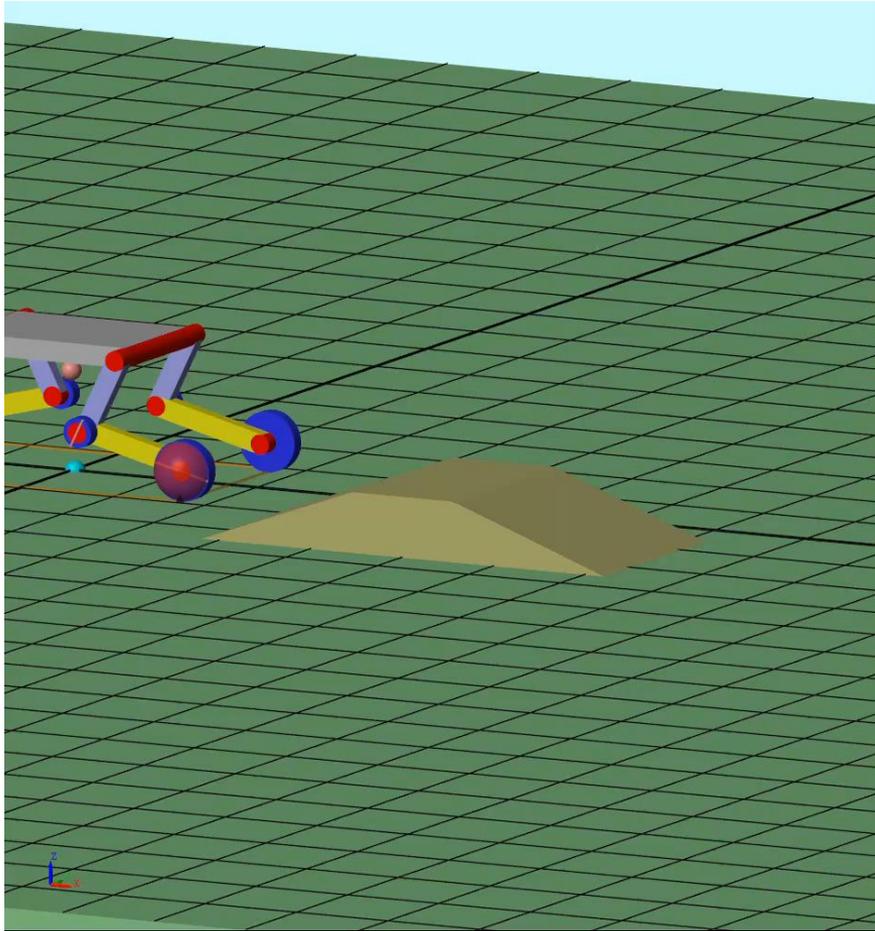
このようにロボットの細部までパーツを作ることも可能ですが、計算に時間がかかるので変更しました



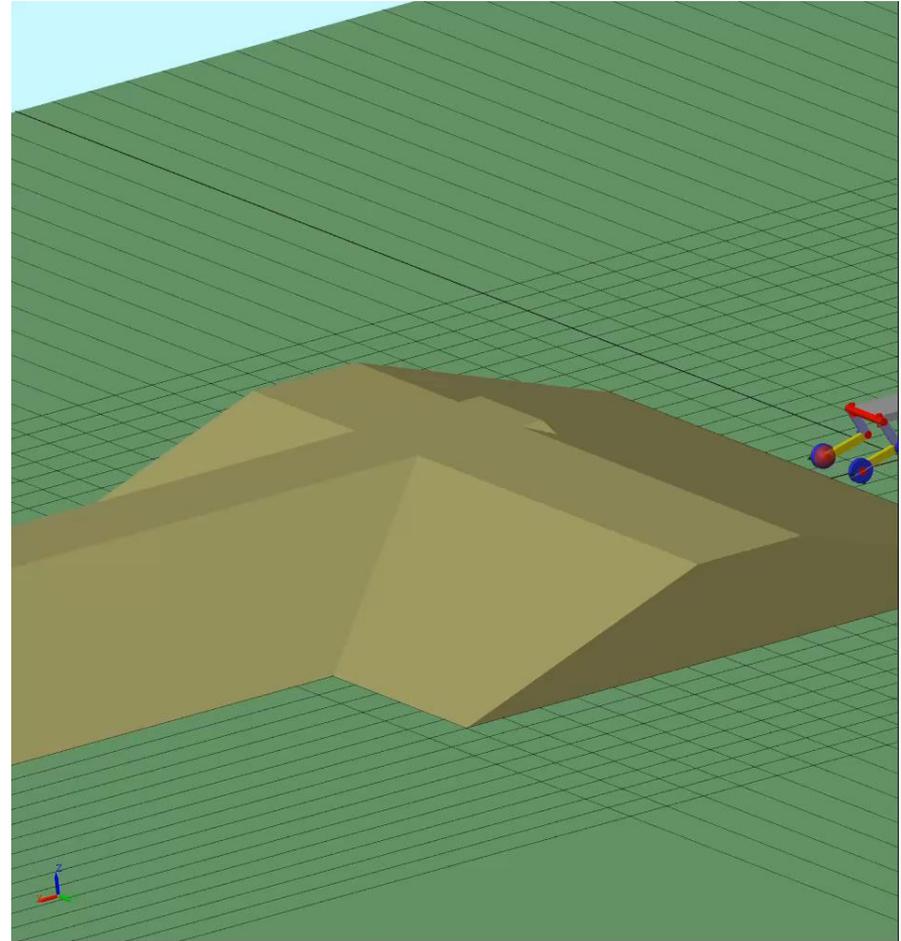
- ・部品形状を簡略化
- ・重心位置や分担荷重を可視化



車両の片側にだけ設置した障害物の走破

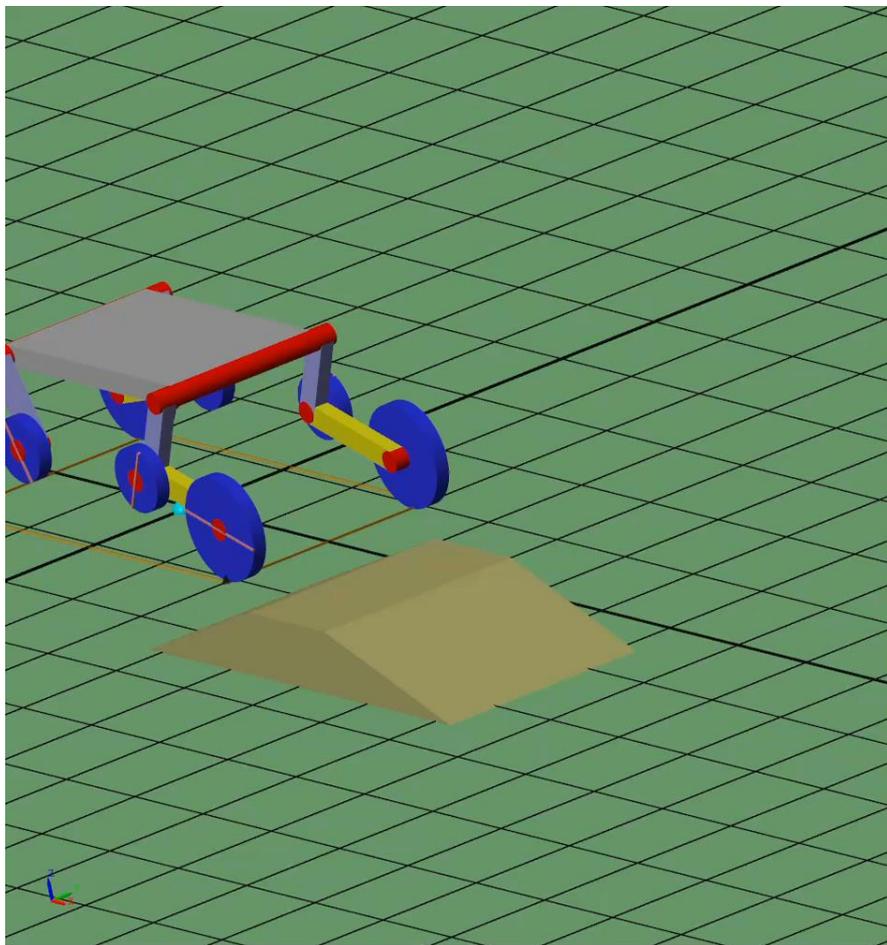


20度の傾斜地のスローム走行

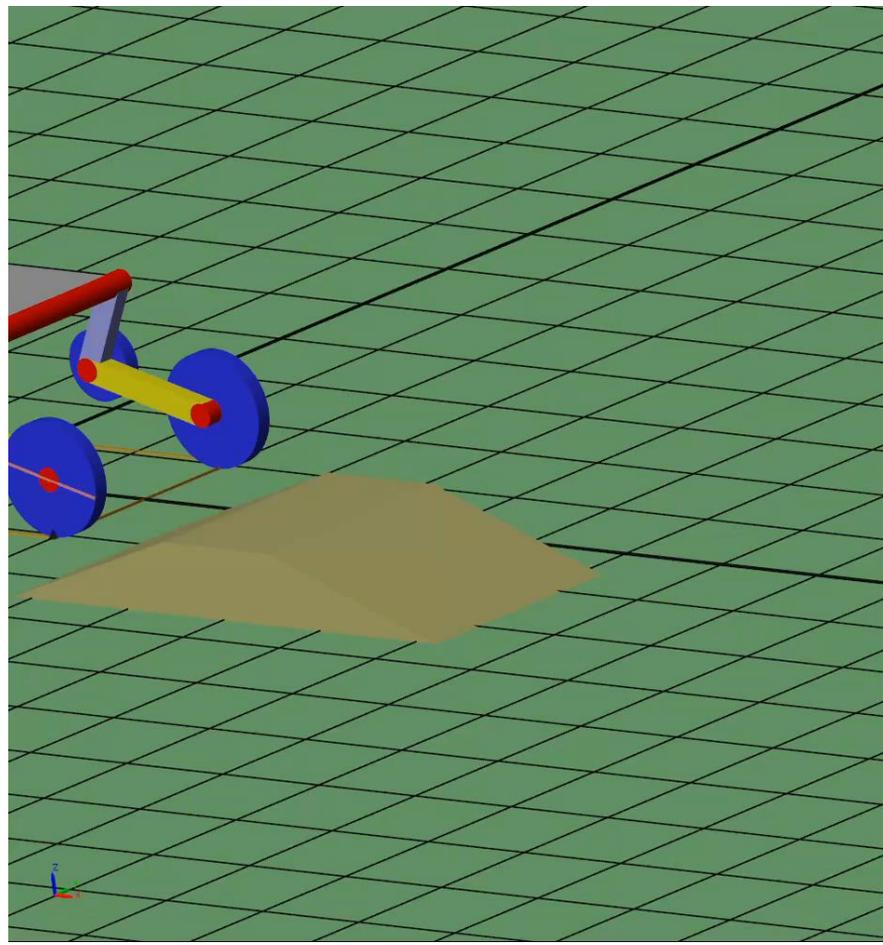


## 実機試験が困難な条件下での挙動を検証

・不整地走行中に側方から外力を加える

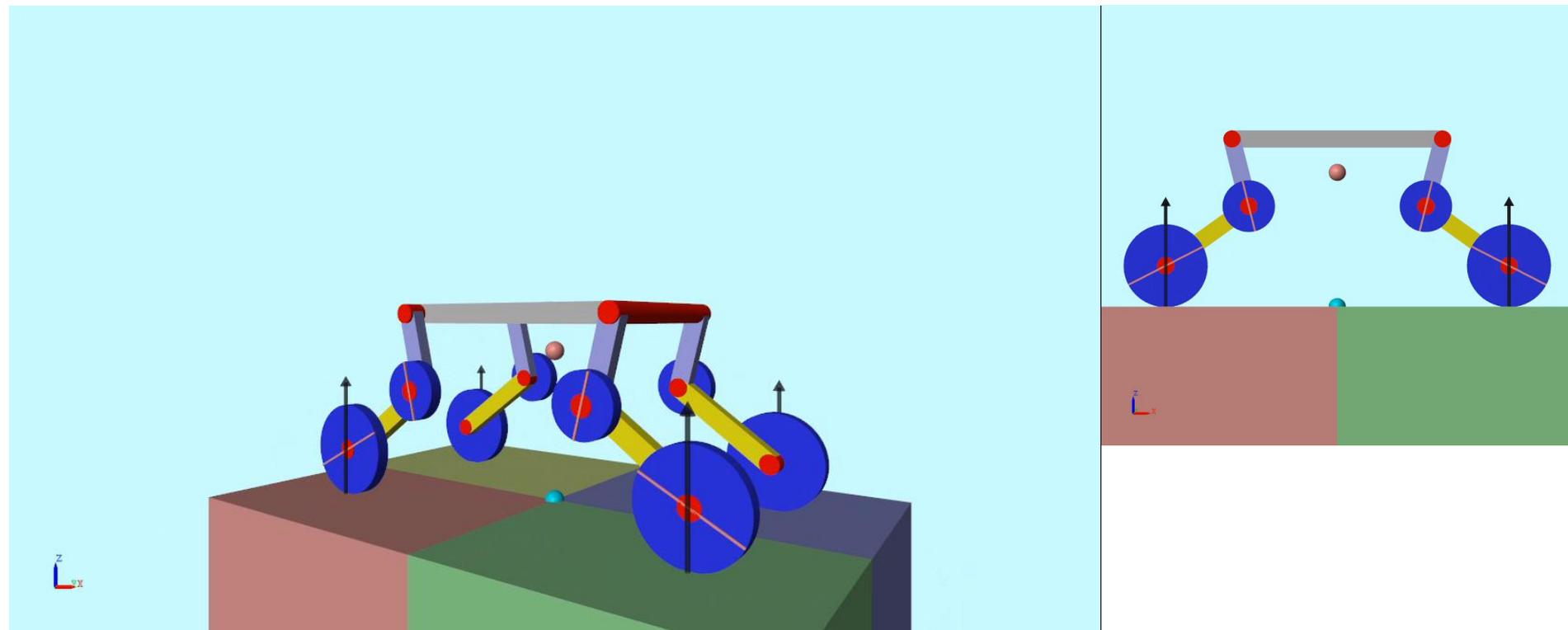


・不整地走行中に荷物の積み下ろしを行う



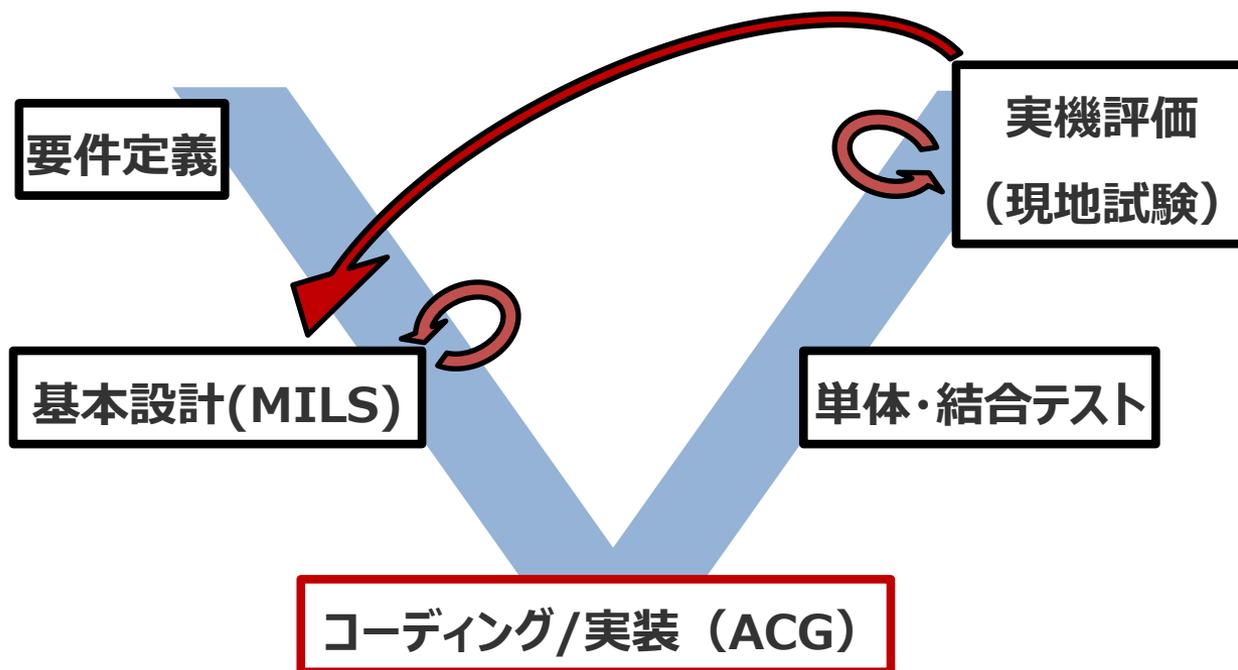
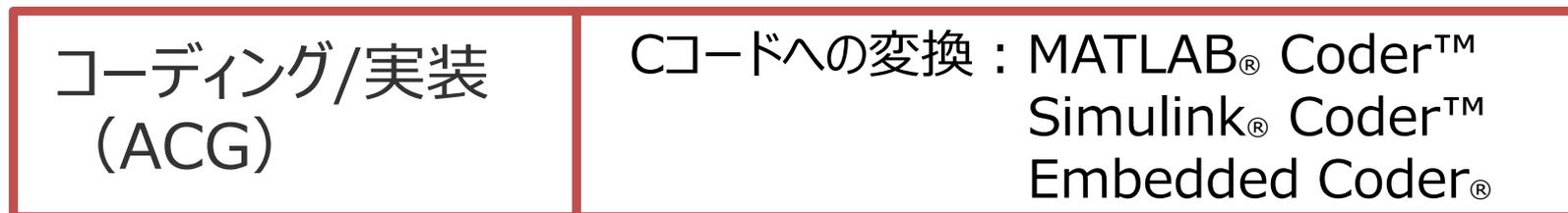
## 特殊な条件下での挙動を検証

- ・揺動する路面の上に立たせる



想定 of 路面変動に対して、水平を維持できることを確認

基本設計（MILS）にて、システムの検討と機能組み込み後の挙動を確認



## コードへの変換：

MATLAB Coder

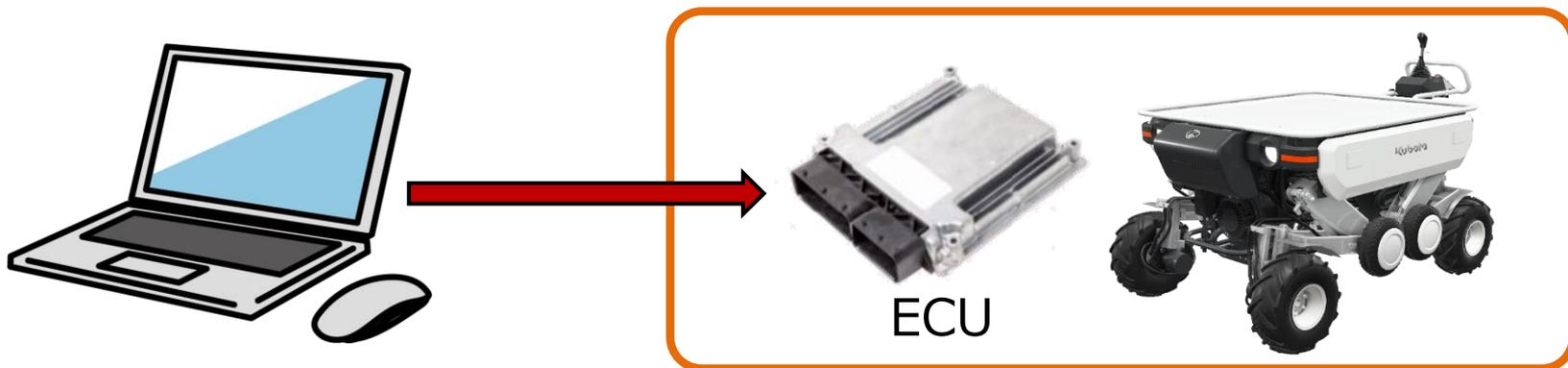
… MATLAB (.mファイル) で記載したプログラムをCコード化

Simulink Coder

… Simulink (.slxファイル) で記載したプログラムをCコード化

Embedded Coder

… MATLAB Coder、Simulink Coder で作成したCコードを、  
量産用に高速かつコンパクトに最適化する拡張機能



新規開発した機能のCコード化が完了



単体・結合テスト：ECUに書き込んだ状態で、機能が意図通りに動作するかを確認する



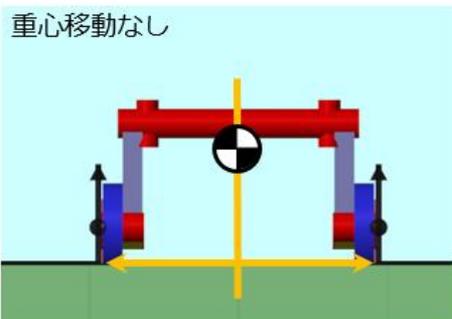
実機評価：実ほ場にて試験を行う



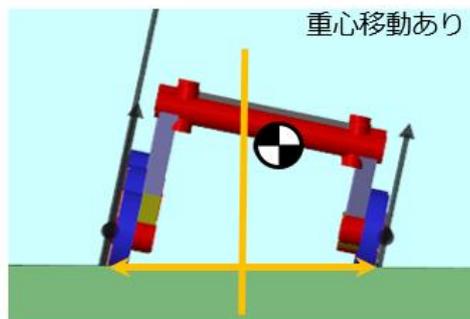
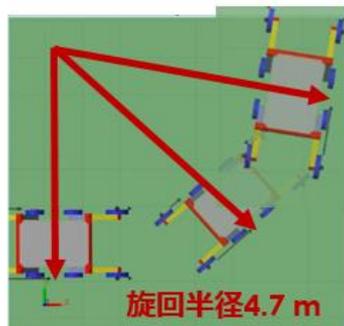
**事前のシミュレーション検証のおかげで、想定通りの結果を達成**

## 6. その他のMATLAB活用事例

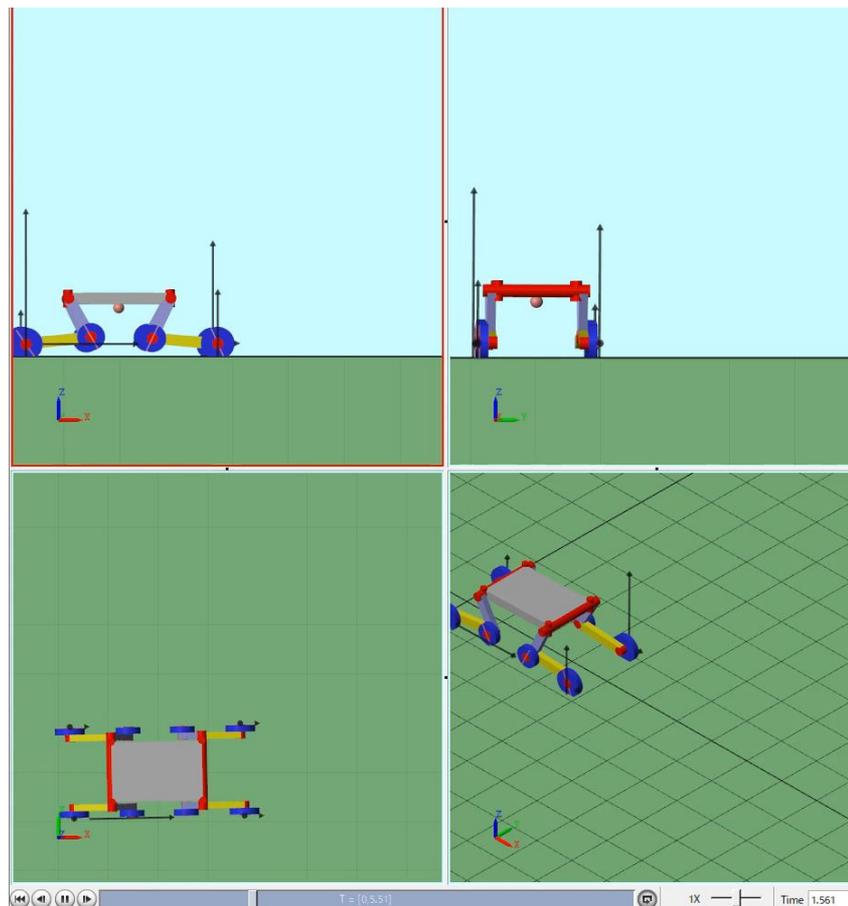
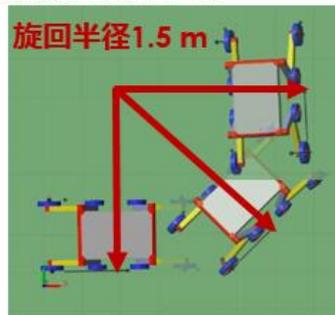
## ・ 重心移動を使った旋回機能の検証、旋回半径の測定



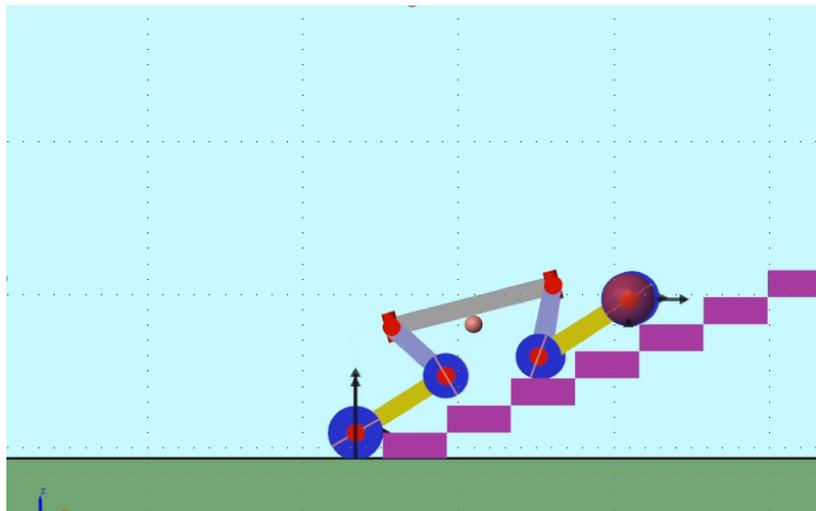
重心位置はトレッドの中心



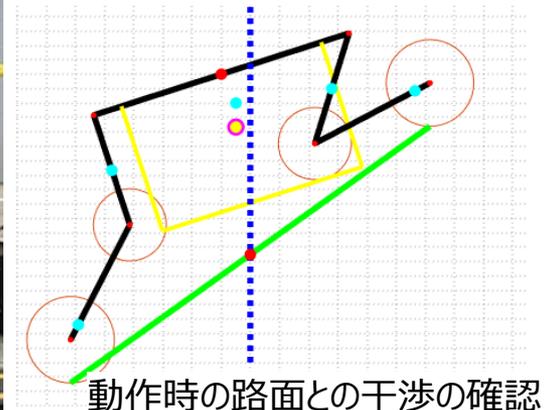
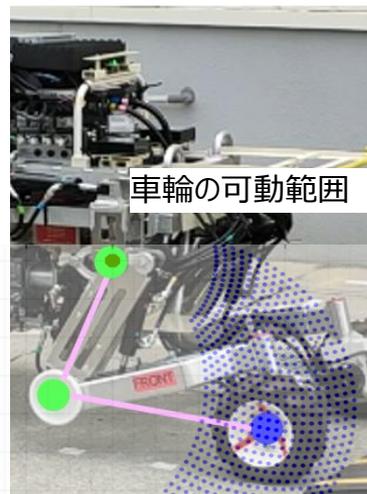
重心位置をトレッドの中心から、  
内輪側に移動させる



## ・外界センサレスでの階段走破機能の開発

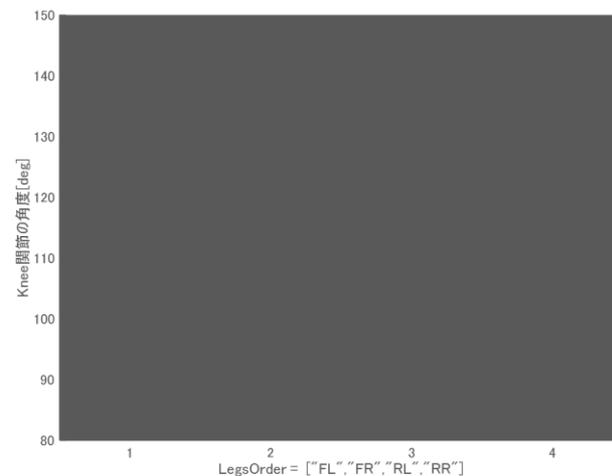
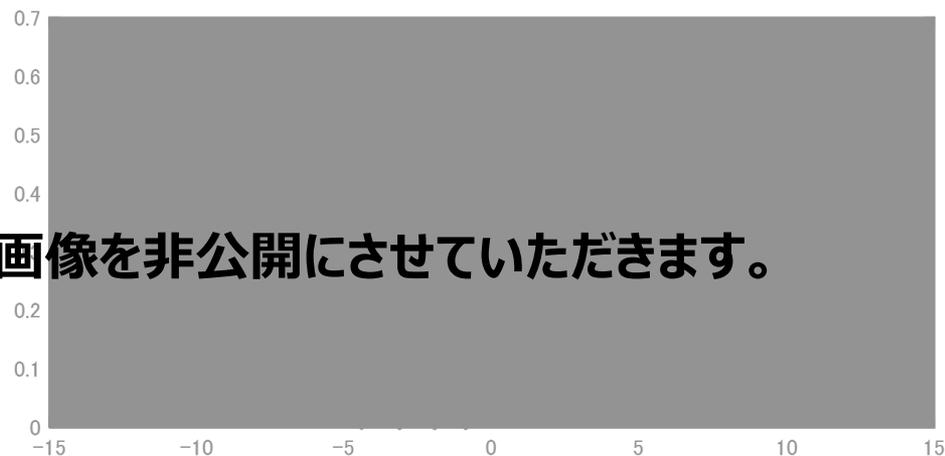


## ・スタック時の脱出用機能の開発



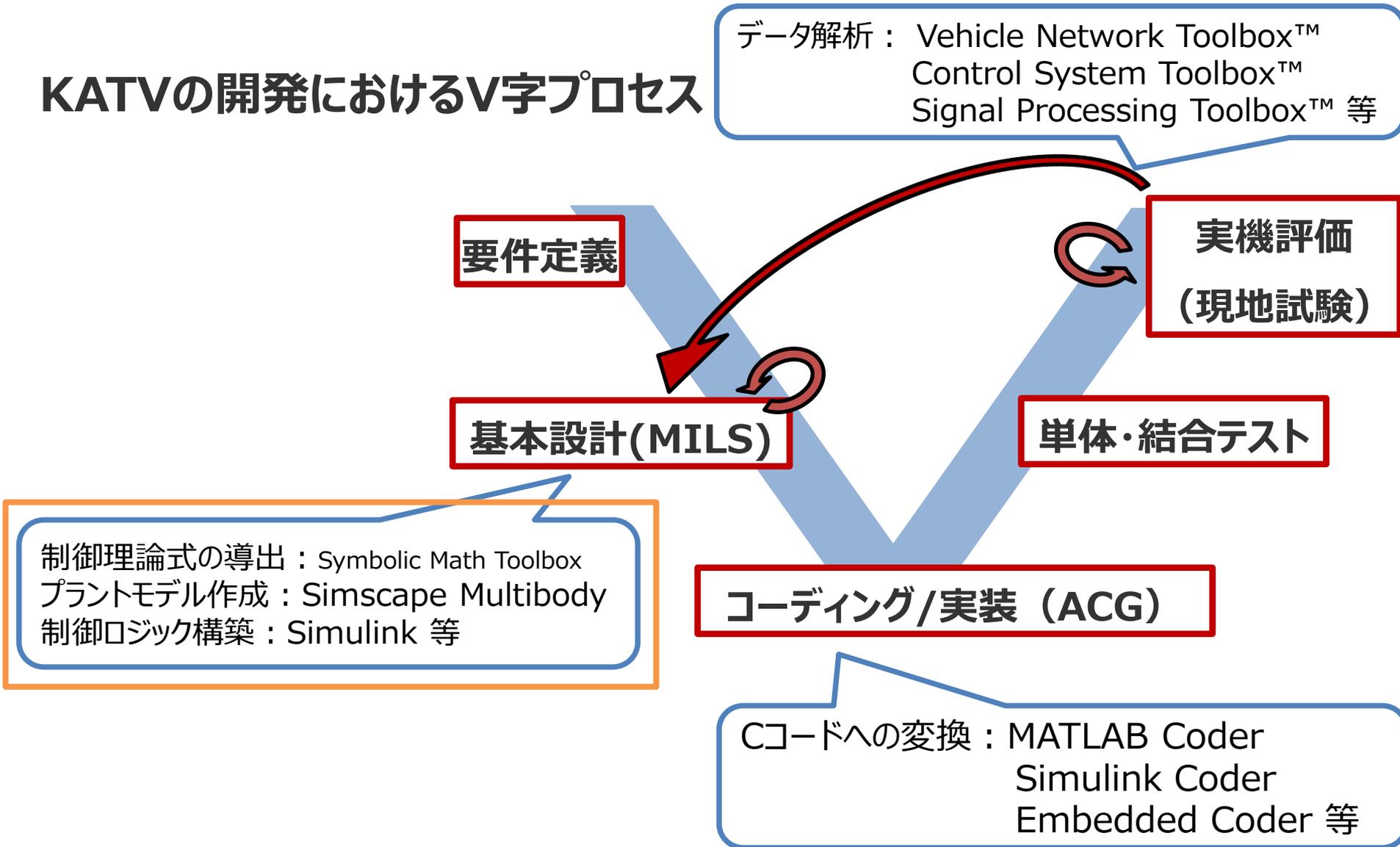
## ・車体の水平維持性能、脚関節の使用軌跡の解析

※ウェブ掲載資料では一部画像を非公開にさせていただきます。

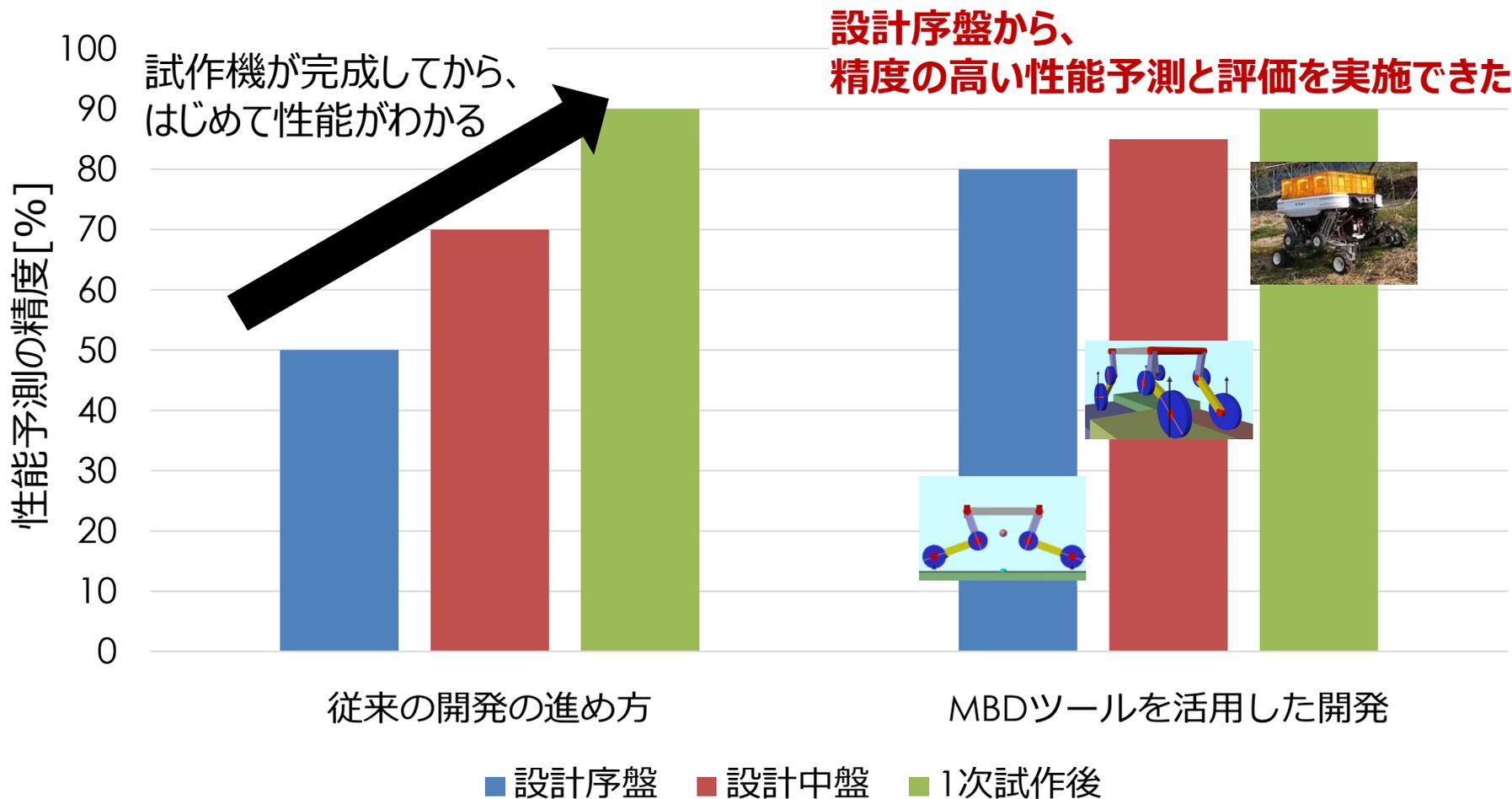


## 7. 結言

## KATVの開発におけるV字プロセス

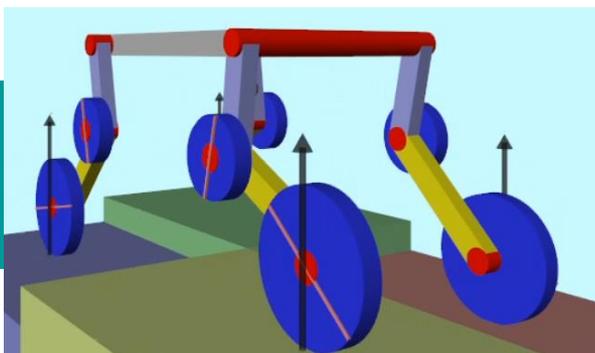


# モデルベース開発のメリット



## スピーディな開発

- ・1D-CAE環境を用いて、早期に制御アルゴリズムの効果を確認できた
- ・実機組み込み前の机上機能検証により、開発の手戻りを減らせた



2020 : 制御アルゴリズムの検証



2021 : 現地研究



2022 : 展示会で初公開



2023～ : 研究機関や企業で運用中

## スムーズな情報共有

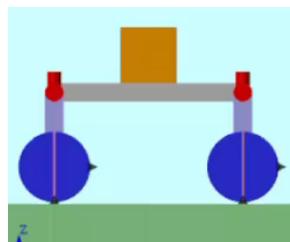
- ・早期に机上で定量的にシステムを検討し、その結果を可視化できた
- ・実機完成前に制御アルゴリズムを検証し、ハードウェア班と仕様を共有できた

### モデルベースデザインツールで表現

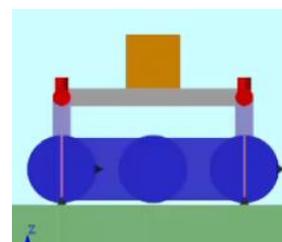


文字やイラスト

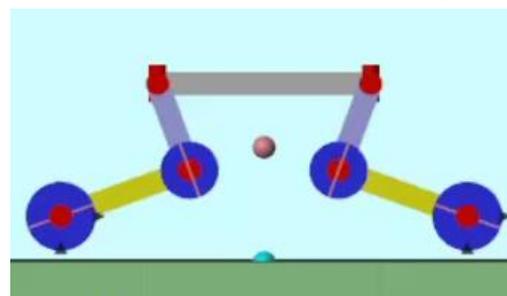
#### システム検討



車輪型

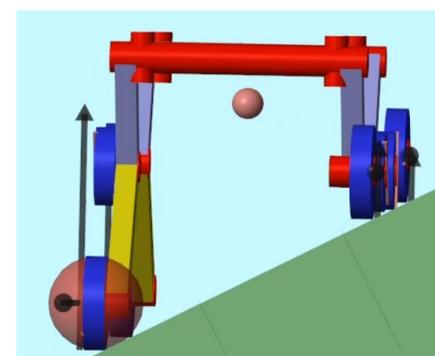
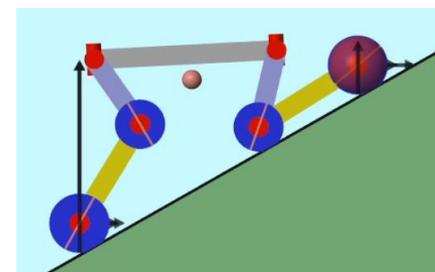


クローラ型



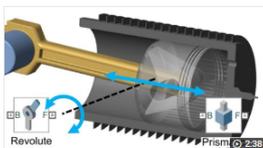
脚車輪型

#### 水平維持性能



## 充実したインターフェイス

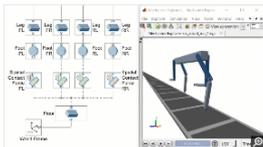
- ・シミュレーションした機能を、すぐにECUへ実装できた（オートコード）
- ・公式サイトから多数のデモファイル、ドキュメントを参考にできた



### 3D メカニズムのシミュレーション

3D メカニズムのマルチボディモデルを作成します。パラメータ化された3D ジオメトリまたは CAD データを使用してパーツを定義します。パーツをジョイントで接続して、自由度を定義します。

Lockheed Martin Space Systems、リアルタイムシミュレーターを使用してマーズリコネッサンスオービターの開発を自動化



### 接触力

CAD ソフトウェアで定義されたパラメトリックとリソッドの間の断続的および永続的な接触をモデル化します。カスタムフォース法を定義します。車面と道路の接触にタイヤモデルを使用します。

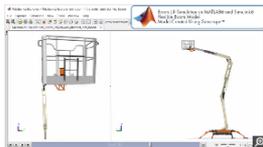
ミツバ、リパーシングワイパーシステムの開発を加速



### CAD インポート

CAD 設計を自動的に変換して、システムのデジタルツインを作成します。CATIA<sup>®</sup>、Creo<sup>™</sup>、Inventor<sup>®</sup>、NX<sup>™</sup>、Solid Edge<sup>®</sup>、SolidWorks<sup>®</sup>、Parasolid<sup>®</sup>から直接ファイルを参照します。

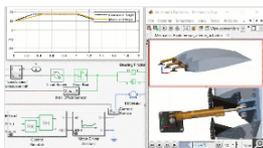
Simscape Vehicle Templates を使用した車両シミュレーション



### 可とう体

理論的および有限要素モデリング手法を使用して可とう体をモデル化します。MATLAB を使用してプロパティを変更し、伸縮、たわみ、ねじりがシステムに与える影響を確認します。

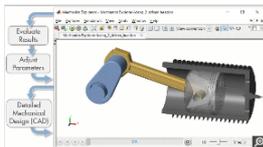
Simscape による産業用トラックのモデル



### 電気および油圧による作動

電子、油圧、空気圧、およびその他のシステムを3D 機械モデルに直接接続します。アクチュエータ技術を評価して、性能要件を満たしているかどうかを確認します。

ESA と Airbus、モデルベースデザインを使用して上段姿勢制御開発フレームワークを作成



### パラメトリック設計

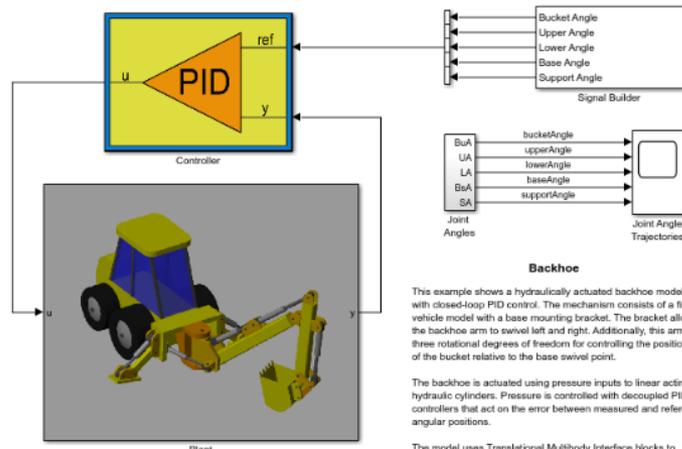
MATLAB を使用して、長さ、質量、電圧などの設計パラメーターを変更します。抽象モデルで動的シミュレーションを使用して、少ない反復で機械設計を完成させます。

DCNS、SAMAHE ヘリコプター操縦システムをモデル化およびシミュレーション

## バックホー

この例では、閉ループ PID 制御をもつ、油圧作動式のバックホーモデルを示します。この機構は、固定された、ベース取付位置を制御できます。

バックホーは、線形に作用する油圧シリンダーへの圧力入力を使用して作動します。圧力の制御には、測定した角度位置と基準モデルでは、Translational Multibody Interface ブロックを使用して、Simscape の 1D 機械並進ドメインのライン (Translational Multibody と Simscape Multibody で常に一致するよう、Prismatic Joint ブロックからの位置信号は Translational Mecha



Copyright 2023 The MathWorks, Inc.

<https://jp.mathworks.com/help/sm/ug/backhoe.html>

<https://jp.mathworks.com/products/simscape-multibody.html>

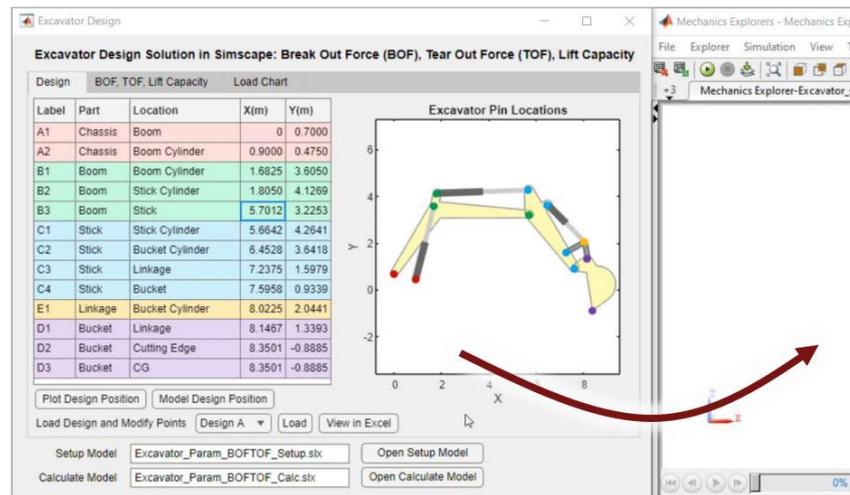
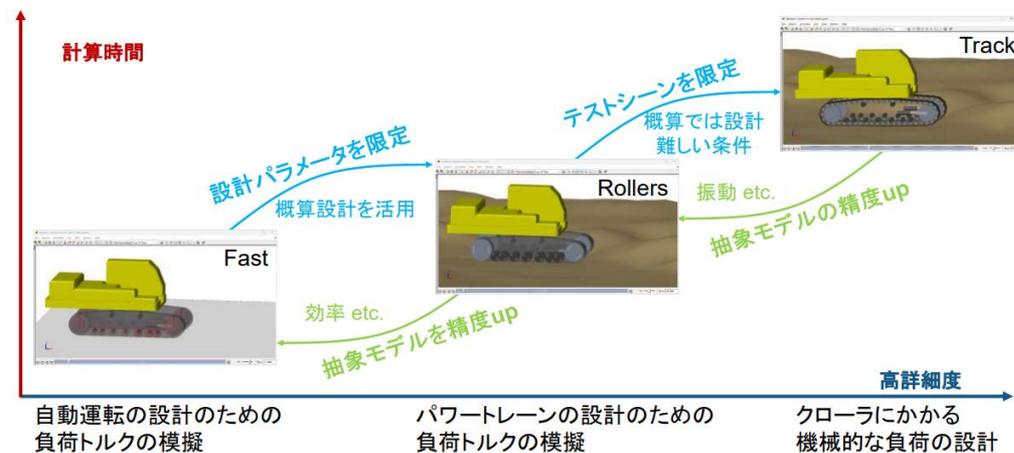
## 今後挑戦したいこと

- ・油圧システム、土壌の変形等を含めたより高詳細なシミュレーションの構築(左図)
- ・メカの形状検討の段階から、MATLABのツールを使って設計の最適化を行う(右図)

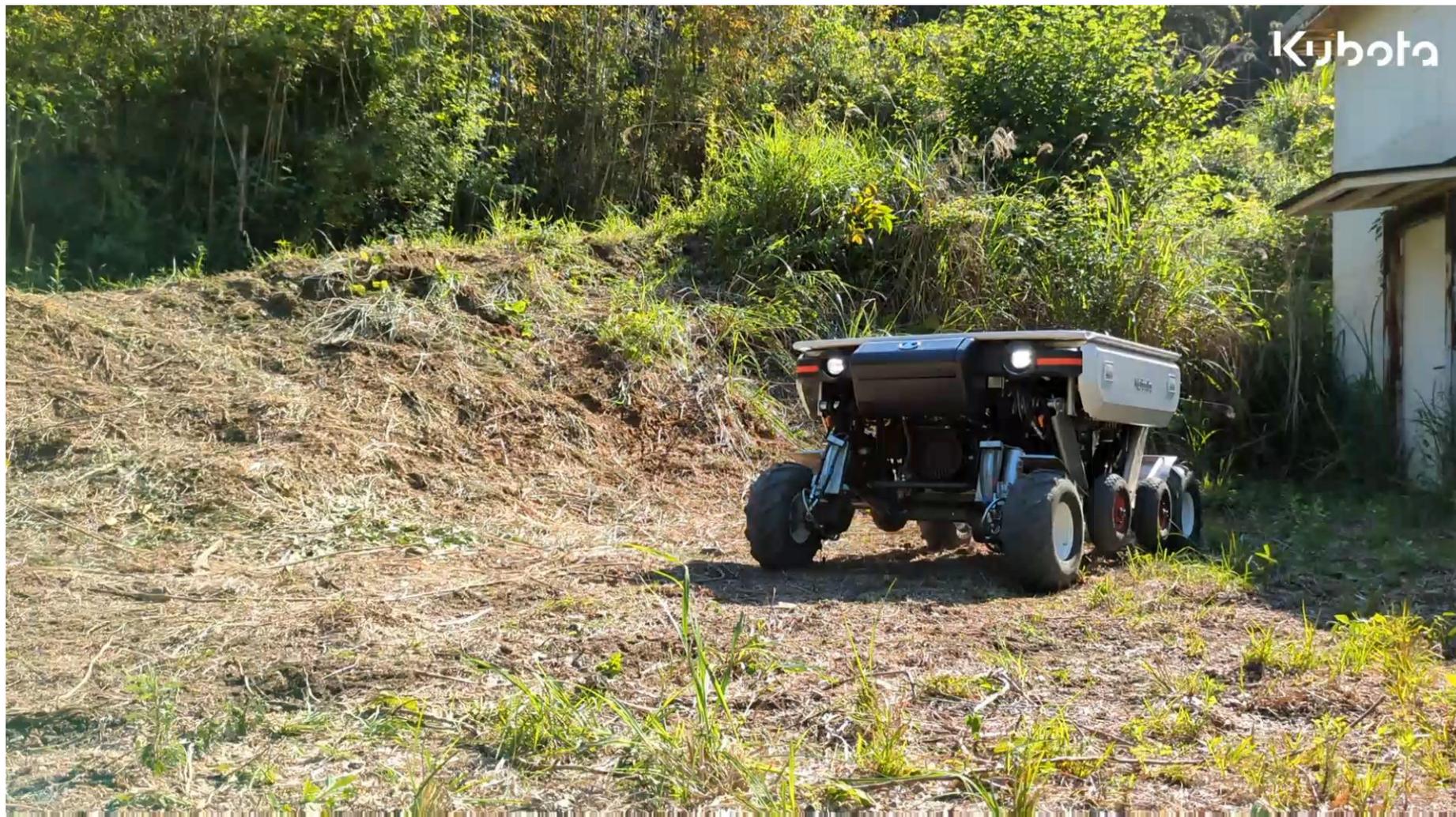
### 目的に応じた適切な詳細度の選定

同一のパラメータ、シーン、コードを活用することで、モデルの精度改善の取り組みをシームレスに

### 機構解析結果の機構設計への反映



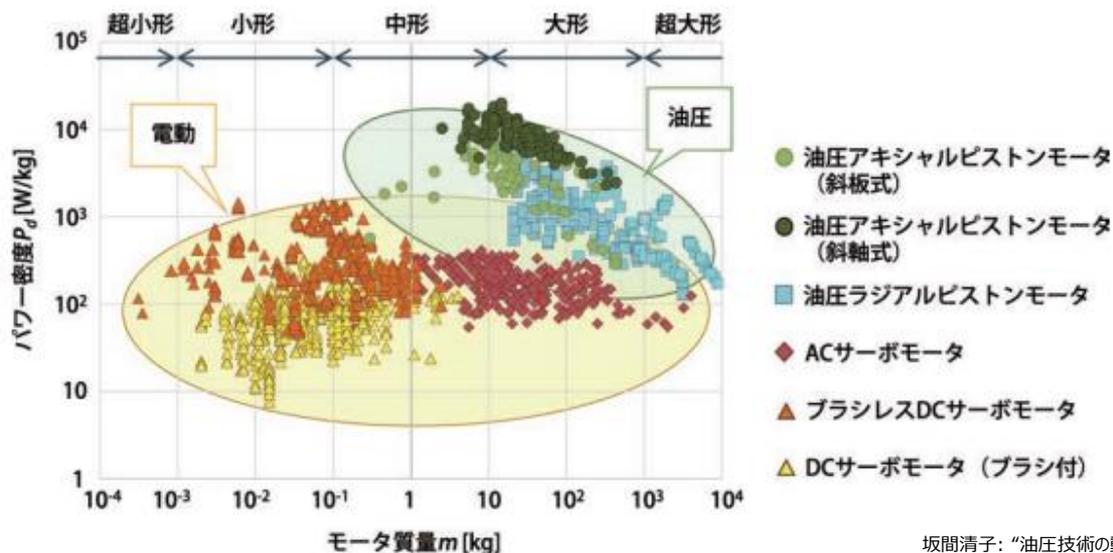
<https://www.matlabexpo.com/content/dam/mathworks/mathworks-dot-com/images/events/matlabexpo/jp/2024/offroad-vehicle-solution.pdf>



**ご清聴ありがとうございました！**

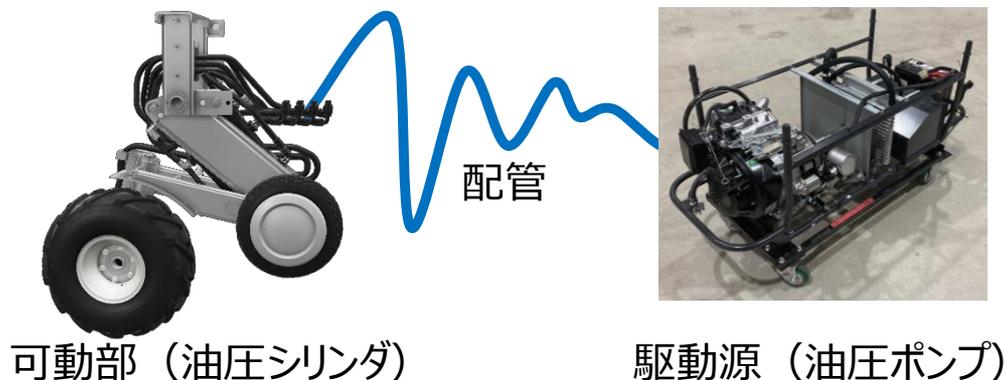
**以降は質疑応答用**

## ・パワー密度に優れる



坂間清子: “油圧技術の動向と展望”, KYB技報 第56号2018-4.

## ・配管で可動部と駆動源を分離配置できる



<例>

電動：関節部にモータを配置  
油圧：関節部には油圧シリンダ、  
シリンダを動かすポンプは車体部に搭載

- ・モジュール構造のため性能アップが容易
- ・可動部の慣性モーメントを小さくできる
- ・配管部の自由度が高い（長さ、形状等）

## ・手段と目的を履き違えない

モデルベース開発（シミュレーション）は手段であって、実施することを目的にはしない。

## ・シミュレーションで見る評価指標を増やしすぎない

評価指標を増やすと、それだけ高い詳細度のモデルが必要になり、モデル作成の工数が増してしまう。本開発では、車体の水平維持精度と接触力にフォーカスして、あとはどうしても実機でできない項目だけ。走行速度のように路面状況で大きく性能が変わる項目は、実機試験で確認しないとわからない。

## ・拙速は巧遅に勝る

本機は新たなコンセプトの機械であり、何が正解か不正解かわからないことが多い。深く考えるよりも、まずは手を動かしてやってみる（シミュレーションであれば事故が起きることもない）。

川口淳一郎：“「はやぶさ」式思考法 日本を復活させる24の提言”，2011.

- ① 減点法をやめて、加点法にしよう
- ⑭ 迷うぐらいなら、どっちでもよい
- ⑰ 「こうすればできる」と考えよう
- ⑲ 「わからないこと」を認識しよう

スイッチ：田植え機から流用

ジョイスティック：コンバインから流用

ライト：トラクタから流用



エンジン：田植え機から流用

圧力センサ：バックホーから流用

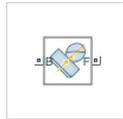
バッテリー：田植え機から流用

## ・シミュレーション : Spatial Contact Force ブロック

簡略化のために、一様な硬盤としてモデリング

### Spatial Contact Force

Model spatial contact between two geometries  
Since R2019b



#### Libraries:

Simscape / Multibody / Forces and Torques

<https://jp.mathworks.com/help/sm/ref/spatialcontactforce.html>

## ・現実

路面により水分量、草の生え方、堆積している枯葉の量、岩石の大きさ等が異なる

